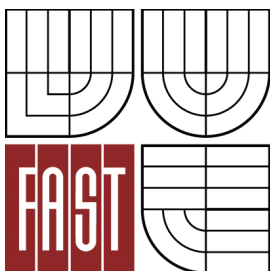




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VZDUCHOTECHNIKA PRO TECHNOLOGICKÉ ČISTÉ PROSTORY

AIR CONDITIONING IN CLEANROOMS FOR TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

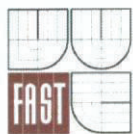
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN ADAMEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

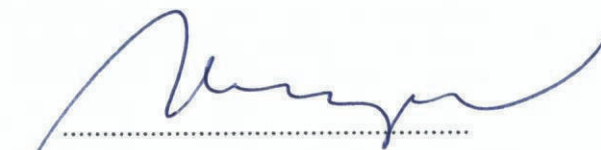
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jan Adamec
Název	Vzduchotechnika pro technologické čisté prostory
Vedoucí diplomové práce	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013



doc. Ing. Jiří Hírš, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v reálné budově postihující zadanou problematiku.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Cílem diplomové práce je navrhnout a posoudit 2 varianty vzduchotechnických systémů pro čistý prostor. Navržený systém je přetlakový. Součástí je i experimentální část, ve které se vyhodnocují získaná data – vlhkost a teplota vzduchu.

Klíčová slova

Vzduchotechnika, čistý prostor, airlock, měření, vlhkost, teplota

Abstract

The main objective of this thesis is to propose and evaluate two variants of HVAC systems for clean rooms. The proposed system is pressurized. As part of the experimental section in which the data obtained are evaluated - humidity and air temperature.

Keywords

HVAC, ventilation systém, clean room, airlock, measurement, humidity, air temperature

...

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Adamec *Vzduchotechnika pro technologické čisté prostory*. Brno, 2014. 105 s., 2 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Jan Adamec

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 16.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Jan Adamec

Poděkování

Poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za pomoc, ochotu a cenné rady a připomínky, které mi poskytl při zpracovávání této práce.

Obsah

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ	11
Úvod.....	11
Základní pojmy.....	11
Čisté prostory	11
Čistota.....	11
Kontaminující látka	11
Částice.....	12
Jádro procesu.....	12
Norma stanovuje průběžné stavy obsazení daného prostoru:	12
Klasifikace čistých prostor	13
Legenda k tabulce	13
Zatřídění čistého prostoru	14
Specifické požadavky na technologické čisté prostory	14
Konstrukční řešení modulárního čistého prostoru.....	16
Softwall Modular Cleanroom	16
Hardwall Modular Cleanroom	16
Zajištění čistého prostoru vzduchotechnikou	16
Vzduchotechnické jednotky	18
Filtrace vzduchu.....	19
Nežádoucí částice ve vzduchu čistých prostor	19
Rozdělení filtrů	20
Kombinování vzduchových filtrů pro čisté prostory.....	25
Přírodní prvky obsahující 3. stupeň filtrace	25
Odvodní prvky.....	29
Vzduchotechnické potrubí a jeho údržba.....	29
Typy proudění vzduchu v čistém prostoru	31
Jednosměrné proudění vzduchu	31
Nejednosměrné proudění vzduchu	32
Intenzita výměny vzduchu	33
Měření podmínek v čistých prostorech pro splnění norem	33
Testování vzduchových filtrů	34
Měření tlakových rozdílů	34

Měření koncentrace částic ve vzduchu	35
Čítač částic	35
Měření koncentrace částic v prostoru.....	35
Objem vzorku vzduchu	36
B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ.....	37
Stavebně-konstrukční část	37
Tepelné bilance objektu	39
Výpočet tepelných ztrát	41
Výpočet tepelné zátěže	42
1.VARIANTA	45
Návrh ohebného připojovacího potrubí.....	47
Návrh distribučního prvku	48
Návrh tepelné izolace	49
Útlum hluku	50
Návrh jednotky	52
2. VARIANTA	60
Návrh ohebného připojovacího potrubí.....	62
Návrh distribučního prvku	63
Návrh tepelné izolace	65
Útlum hluku	66
Návrh jednotky	68
H-X DIAGRAMY	76
Úprava vzduchu v letním období pro 1. variantu.....	76
Úprava vzduchu v letním období pro 2. variantu /nedostatečné odvlhčení při použití pouze jednoho vodního chladiče/.....	77
Úprava vzduchu pro jiné vstupní podmínky ($t_e=15^{\circ}\text{C}$, $\phi_e=76\%$). Zde je rekuperace kontraproduktivní, protože potřebujeme vyšší výkon pro chlazení.	78
TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	79
FUNKČNÍ SCHÉMATA	87
ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT	89
C. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	90
Popis experimentu.....	90
ZÁVĚR.....	100

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

Úvod

Tématem mé diplomové práce je návrh dvou variant větrání čistého prostoru elektrotechnické laboratoře, která vznikne rekonstrukcí stávajícího objektu. Cílem práce jsou tudíž zmíněné dva návrhy vzduchotechniky – jeden s turbulentním prouděním v místnosti a druhý s předpokládaným laminárním prouděním. Další částí je vyhodnocení výsledků získaných měřeními daných veličin.

Základní pojmy

Čisté prostory

Tzv. čisté prostory jsou v současné době definovány normou ČSN EN ISO 14644-1 jako prostory, ve kterých je přísně kontrolována koncentrace nežádoucích částic ve vzduchu a zároveň je prostor konstruován a používán způsobem, aby se vznik těchto částic minimalizoval. Dále jsou samozřejmě kontrolovány, je-li to nutné, i jiné parametry jako je např. teplota, vlhkost, tlak. Tyto prostory se kvalifikují třídou čistoty (viz níže). Hlavní zdroje znečištění jsou venkovní vzduch, činnost a pobyt osob, práce technologických zařízení, přeprava plyných, kapalných látek pro výrobu aj. Obecně lze tyto prostory rozdělit do 2 hlavních tříd – A) prostory, kde je rozhodujícím parametrem počet živých částic neboli mikroorganismů (nemocnice, farmaceutický a potravinářský průmysl atd.), B) prostory, kde je rozhodujícím parametrem počet neživých částic, které by negativně narušovaly technologický proces nebo výrobu (elektrotechnický průmysl, optika apod.).

Čistota

Je to stav výrobku, povrchu, zařízení, plynu, kapaliny apod. s přesně definovanou úrovní kontaminace, ta může mít formu částic, nulových částic, biologickou aj.

Kontaminující látka

Je to jakákoliv entita skládající se z částic, molekul, nulových částic, která může nepříznivě ovlivnit výrobce či technologický (resp. výrobní) proces.

Částice

Nepatrný kus hmoty s přesně definovaným fyzickým vymezením (rozměrem).

Jádro procesu

Je to místo, kde probíhá proces a interakce mezi vnějším okolím a samotným procesem.

Norma stanovuje průběžné stavy obsazení daného prostoru:

- Stavebně dokončený
Vlastní stavba čistých prostor je dokončená, všechny přívody médií jsou připojeny a funkční. Prozatím nejsou nainstalována výrobní zařízení, nejsou přítomni žádní pracovníci a ani materiál.
- Technologicky připravený
Vlastní stavba čistých prostor je dokončená. Jsou nainstalovány veškeré výrobní přístroje a jsou funkční a jsou v režimu schváleném zákazníkem i dodavatelem. V čistém prostoru ovšem nejsou přítomni žádní pracovníci.
- Provozní stav
Instalace je funkční ve specifickém režimu, s požadovaným (resp. povoleným) počtem pracovníků pracujících dle schválených provozních předpisů.

Norma nám klasifikuje čisté prostory klasifikačním číslem tj. maximální povolenou koncentraci částic pro každou uvažovanou velikost částice.

$$C_N = 10^N \times \left(\frac{0,1}{D}\right)^{2,08}$$

kde: C_N – maximální povolená koncentrace částic ve vzduchu (počet částic/m³)

N – klasifikační číslo ISO třídy, které nesmí být větší než 9 (může specifikovat i jemnější klasifikaci čistých prostor s nejmenším povoleným přírůstkem 0,1)

D – uvažovaná velikost částice v μm (0,1 je konstanta uváděná v μm)

ISO Třída klasifikace (N)	Maximální povolená koncentrace ^a [počet částic/m ³]					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1,0 μm	5 μm
ISO Třída 1	10 ^b	d	d	d	d	e
ISO Třída 2	100	24 ^b	10	d	d	e
ISO Třída 3	1000	237	102 ^b	35 ^b	d	e
ISO Třída 4	10000	2370	1020	352	83 ^b	e
ISO Třída 5	100000	23700	10200	3520	832	e
ISO Třída 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO Třída 7	c	c	c	352000	83200	2930
ISO Třída 8	c	c	c	3520000	832000	29300
ISO Třída 9	c	c	c	35200000	8320000	293000

Klasifikace čistých prostor

Úroveň čistoty vzduchu je kvalifikována kategorií ISO Třídou, která vyjadřuje maximální přípustný počet nežádoucích částic v 1 m³ – Tab. 1 [zdroj: ČSN EN ISO 14644-1].

Legenda k tabulce

a – všechny uvedené koncentrace v tabulce jsou kumulativní, např. pro ISO Třidu 5 platí, že počet částic menších a roven velikosti 0,3 μm je max. 10 200

b – tyto koncentrace povedou k velkým objemům vzorků vzduchu pro klasifikaci

c – limitní koncentrace nejsou použitelné v této oblasti v tabulce v důsledku velmi vysokých koncentrací částic

d – odběry vzorků a statistické omezení pro částice v nízkých koncentracích, není vhodné pro klasifikaci

e – omezení odběru vzorků pro částice v nízkých koncentracích pro velikosti částic větší než 1 μm , není vhodné pro klasifikaci, vzhledem k možným ztrátám částic v systému odběru vzorků

Zatřídění čistého prostoru

Pro zatřídění čistého prostoru slouží aktuální, již výše zmíněná, norma ČSN EN ISO 14644-1, charakterizující čistý prostor v závislosti na počtu a rozměrech částic obsažených v dané objemové jednotce vzduchu.

I v současné době se lze setkat v praxi s dnes již neplatnou normou FS 209E (US Federal Standard 209E).

Obecné příklady zatřídění jednotlivých tříd:

- ISO Třída 4 – 5 : Čisté prostory pro personál, používající čisté oděvy, zpracování osvětlovacích masek pro výrobu polovodičů, výroba CD, DVD, šedé zóny na výroby polovodičů.
- ISO Třída 5 : Výroba jemné mechaniky, konečná fáze výroby elektroniky, výroba a balení léků v uzavřených systémech, operační sály vyšší kategorie (běžně 5 – 7).

Specifické požadavky na technologické čisté prostory

Tato práce se zaměřuje na technologicky čisté prostory především pro elektrotechnický průmysl a z toho vyplývá celá řada různých požadavků na kvalitu vnitřního mikroklimatu. Vzhledem ke značnému množství používaných přístrojů je nezbytné respektovat, při jejich běhu, značnou tepelnou zátěž. Kolísání teplot v laboratořích, kde probíhá výroba, zkoušení elektrotechnických součástek by se měla pohybovat ideálně v rozmezí 2 K (v zimě 22 ± 2 °C, v létě 24 ± 2 °C). Relativní vlhkost vzduchu by se měla držet na $50\% \pm 10\%$.

Největším zdrojem znečištění v čistém prostoru je člověk, který musí mít, při vstupu do prostoru vhodný oblek, obuv a rukavice, proto jsou na vstupu a výstupu z prostor vždy personální a materiálové propusti tzv. airlock. Jeden ze způsobů jak chránit čistý prostor před případnou kontaminací z okolního prostředí je vytvoření tzv. tlakové bariéry, ta musí být trvale udržována. Běžný rozdíl tlaků mezi čistým prostředím a okolím je obvykle 15 Pa, rozdíl mezi prostory s různými třídami čistoty je 10 Pa. V tlumeném provozu je vyhovující diference tlaku 5 Pa.

Dalšími parametry, podílející se na kvalitě vnitřního mikroklimatu, jsou estetická provedení např. barevná řešení zón či některých prvků umístěných v daných prostorech. Důležitou součástí je také pravidelný úklid, který by měl probíhat denně.

Základní požadavky čistoty konstrukcí: hermetičnost, neuvolňovat znečištění, nesmí mít ostré rohy, spáry a výklenky nedostupné pro snadné čištění, hladký povrch (omyvatelný), antistatické (nebo elektricky vodivé), pevné, trvanlivé, odolné proti opotřebování povrchu, odolné proti vlhkosti a plísní, stabilní vůči desinfekčním a jiným látkám.

Dveře by měly mít co nejméně vodorovných ploch a výčnělků, na kterých by se mohl např. usazovat prach. Konstrukce dveří a jejich instalace musí být provedena tak, aby nedocházelo k zachytávání dveří o rám nebo podlahu.

Stropní konstrukce včetně upevněných prvků by neměla mít vliv na proudění vzduchu a měla by splňovat podmínku vzduchotěsnosti a pevnosti.

V mikroelektronice mají čisté prostory (ISO Třída 5 a čistší) zpravidla perforované sběrné (duální) podlahy (tzv. zdvojené). Zajišťují tak ještě lepší jednosměrné proudění vzduchu v prostoru. Ve zdravotnictví, farmaceutickém průmyslu a nemocnicích se tento typ podlahy nepoužívá z důvodu větší náročnosti úklidu uvedených povrchů. Nejběžněji se používá vinylová nášlapná vrstva (linoleum) a epoxidové podlahy. V ISO Třídách 7 a 8 lze již použít i jiné druhy povrchu např. keramická dlažba.

Potrubí i všechny armatury umístěny v čistém prostoru by měly být snadno přístupné pravidelné údržbě.

Konstrukce osvětlení musí respektovat požadavky čistých prostor. Musí být snadno přístupné pro čištění, neměly by narušovat proudění vzduchu v prostoru. Svítidla by měla být přístupná údržbě shora a ne z čistého prostoru.

Při pohybu pracovníků, transportních vozíků, při víření vzduchu se na površích formuje elektrostatický náboj, který vede k negativním důsledkům. Proto by veškeré konstrukce i ošacení personálu pohybujícího se v čistém prostoru mělo být antistatické.

Konstrukční řešení modulárního čistého prostoru

Modulární systém umožňuje velmi rychlou realizaci čistého prostoru, oproti klasickému stavebnímu řešení. V těchto systémech je řešen odvod vzduchu např. otvorem v modulární stěně, který může být vybaven filtrem pro odvod vzduchu. Díky proudění (kontinuální) vzduchu je zamezeno vniknutí nežádoucích částic přes tento otvor do čistého prostoru.

Softwall Modular Cleanroom

Panely Softwall se používají pro rychlou realizaci daného čistého prostoru. Typickým příkladem je přemístitelný laminární box (viz níže).

Hardwall Modular Cleanroom

Tato konstrukce je pevně osazena do podlahy prostoru. Svislé části se skládají z profilů, mezi kterými je např. PC deska, která musí být dokonale vzduchotěsně uchycena ke konstrukci. Používá se často ve výrobních halách pro vytvoření čistého prostoru nebo obestavění výrobního zařízení.



Obr. 1 - Hardwall Modular Cleanroom [zdroj: terrauniversal.com]

Zajištění čistého prostoru vzduchotechnikou

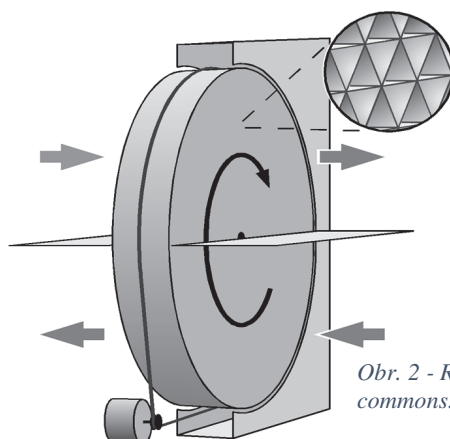
K zajištění ideálního mikroklimatu čistého prostoru jsou nejčastěji používány centrální vzduchotechnické jednotky, které zajišťují výměnu vzduchu s úplným podílem (100%) čerstvého

vzduchu, cirkulační vzduch je nežádoucí. Přírodní vzduch by měl mít teplotu v rozmezí 17 – 27°C. Při navrhování by měly být brány v potaz výše uvedené požadavky.

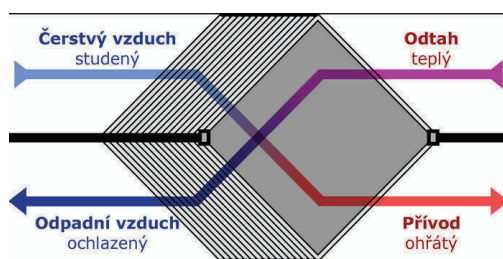
Běžné úpravy vzduchu:

- Pro zimní období – ohřev vzduchu pomocí ZZT, dohřev vodním (resp. elektrickým – není vhodný z ekonomického hlediska; někdy lze použít i kondenzátorové jednotky chladivového systému, které pracuje s odpadním nebo tepelným čerpadlem) výměníkem, parní vlhčení.
- Pro letní období – tzv. mokrým chlazením.

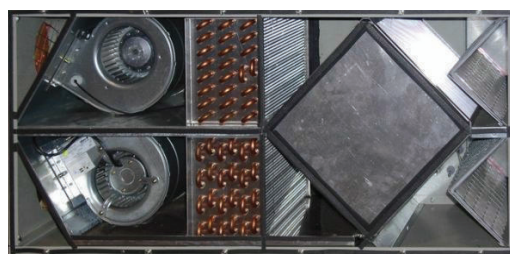
Nezbytné je využití jednotek pro zpětné získávání tepla (ZZT) – rekuperační nebo regenerační výměníky - vzhledem k práci s velkými objemovými výměnami vzduchu, tudíž i z toho vyplývající velké spotřeby energie na ohřev vzduchu. Nejpoužívanější ve všech oblastech nuceného větrání je deskový výměník, konstrukčně nejjednodušší a jeho předností je fakt, že pracuje bez potřeby elektrické energie. Další výhodou oproti rotačnímu výměníku je, že u proudů vzduchu nedochází k jejich míšení. Účinnost předání tepla se pohybuje, u takového výměníku, kolem 40 – 60%. Další volbou jsou regenerační výměníky, z nichž nejvíce rozšířen je rotační výměník tepla s účinností až 80%. V tomto případě ovšem dochází k malému míšení proudů vzduchu (přírodního a odpadního) a tudíž je tento výměník vhodný pouze tam, kde nejsou kladeny příliš přísné požadavky na hygienický provoz zařízení. Další možností je použití tepelných trubic, tento výměník je tvořen svazkem svislých (někdy šikmo uložených) trubic, které jsou naplněny látkou s nízkou teplotou odparu. V rekuperátoru jsou tyto gravitační trubice umístěny tak, aby spodní výparná část trubic byla v proudu teplého vzduchu a horní kondenzační část v proudu chladného vzduchu. Účinnost tohoto výměníku nabývá hodnot okolo 50 - 70%.



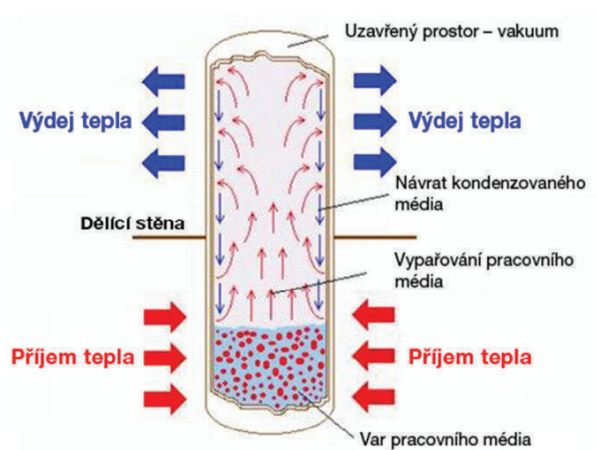
Obr. 2 - Regenerační rotační výměník [zdroj: commons.wikimedia.com]



Obr. 3 - Schéma deskového výměníku [zdroj: na]



Obr. 4 - Deskový výměník [zdroj: nazeleno.cz]



Obr. 5 - Schéma tepelné trubice [zdroj: gbconsulting.cz]

Vzduchotechnické jednotky

Vzduchotechnická centrální jednotka by měla obsahovat min. dvoustupňovou úroveň filtrace, rekuperační výměník (nejčastěji deskový s křížovým proudem), ohřev a dohřev pomocí

vodních výměníků a zařízení pro úpravu vlhkosti přiváděného vzduchu. Čisté a hygienické provedení jednotek je v současné době nabízeno již přímo výrobcí.

Vzhledem k množství zařízení ve vzduchotechnické jednotce je nutno vzít v potaz její velikost a respektovat větší rozměry již při architektonickém návrhu strojovny vzduchotechniky.

VZT jednotka by měla být schopna nepřetržitého provozu, ovšem v době, kdy je prostor nevyužíván, je dostačující práce v tzv. útlumovém režimu vzduchotechnické jednotky (poloviční výkon).

Filtrace vzduchu

Filtrace vzduchu je zásadním dějem probíhajícím ve vzduchotechnické jednotce pro čisté prostory. Bývá min. dvoustupňová (u čistých prostor většinou třístupňová) – filtr na vstupu vnějšího vzduchu do zařízení a poté filtr, který je umístěn jako poslední zařízení na přívodní části VZT jednotky. V případě nebezpečných příměsí (např. pro životní prostředí) vzduchu bývá filtrace i na odvodní části jednotky. Filtry slouží k zachycování nežádoucích látek ve vzduchu – pevného aerosolu. Primární funkcí je tudíž udržování zvolené kvality vnitřního mikroklimatu a zároveň také ochrana před zanášením prachem veškerých zařízení umístěných ve VZT jednotce (výměníky, ventilátory apod.).

Nežádoucí částice ve vzduchu čistých prostor

Částice jsou malé, pevné nebo kapalné látky s přesně definovanými rozměry. Základním rozdělením částic je kategorizování objektu jako živého (mikroorganismy, které jsou schopny přežívat za příznivých podmínek jako je přítomnost vody, dostatečného tepla a živného prostředí, které pomáhá jejich růstu a dalšímu šíření) a neživého (prach apod.). Tři nejdůležitější faktory rozptýlení částic ve vzduchu mající vliv na technologii čistých prostor jsou atmosférický vzduch, systém přípravy vzduchu (a jeho distribuce) a uvolňování částic při provozu. Atmosférický vzduch obsahuje aerosoly (dispergované částice), vzniklé v důsledku činnosti člověka a přírodních procesů. Převažují zejména drobné částice, kdy koncentrace částic o průměru $0,1\mu\text{m}$ je až 1000x vyšší než koncentrace částic o velikosti $1\mu\text{m}$. Podstatný vliv na to má fakt, v jakém prostředí je situován objekt (průmyslová zóna, venkov apod.). Hlavním zdrojem nečistot jsou dopravní komunikace (zejména silniční doprava), vzdušné a tepelné emise jiných výrobních objektů. Vlivem těchto všech faktorů může být v 1 krychlovém metru obsaženo i přes 10 miliard částic, které jsou větší než $0,5$

μm . Koncentrace mikroorganismů může dosáhnout až $1000 \text{ CFU}/\text{m}^3$ (CFU – „Colony Forming Units“ – kolonie vytvářející jednotky, které jsou schopny se rozmnožovat – bakterie, plísně atd.).

Rozdělení filtrů

Filtry pro hrubý prach – G – Tyto filtry – převážně kapsové – jsou schopny odfiltrovat částice větší a rovny $10 \mu\text{m}$. Dělí se ještě na 4 podkategorie, kdy G1, G2 jsou filtry vhodné pouze pro nejjednodušší ochranu (např. před hmyzem, pískem, vlasy apod.). Jako materiál filtru se používá polyuretan (G1), přírodní latexové vlákno (G3), syntetické vlákno (G2, G3, G4), skelné vlákno (G2, G3, G4) a recyklovaný papír (používá se spíše jako první stupeň filtrace v lakovnách). Vyšší třídy G3, G4 už jsou schopny zadržet květní pyl.



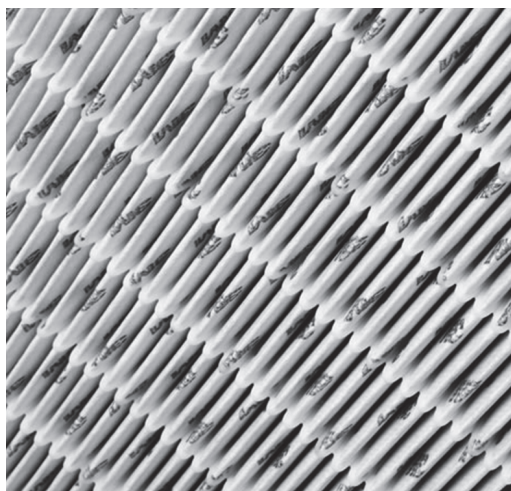
Obr. 6 - Kapsový filtr [zdroj: ksklimaservice.cz]

Filtry pro jemný prach – F – Použití těchto filtrů již zaručuje zachycení částic větších než $1,0 \mu\text{m}$. Rozdělení této třídy na M5, vhodné jako předfiltr pro F8 a F9 (zachycení výtrusů, cementového prachu), dále M6, vstupní filtr pro prostory s nízkými požadavky na čistotu vzduchu – např. prodejní prostory (větší bakterie, prach PM 10), filtry F7, F8 jsou většinou koncové v klimatizačních zařízeních s menšími nároky – např. obchodní domy, kanceláře, vhodné také jako předfiltry pro třídy E11 a E12 (saze, prach PM 2,5, cementový prach). Filtry F9 jsou vhodné jako koncové filtry v zařízeních pro vyšší nároky - laboratoře, nemocnice, centrály výpočetní techniky. Používají se také jako předfiltry pro adsorpční filtry nebo pro filtry třídy H13, H14 (farmaceutický průmysl). Dokáží zadržet tabákový kouř, kouř kyslíčnicků kovů (hrubé frakce), bakterie.

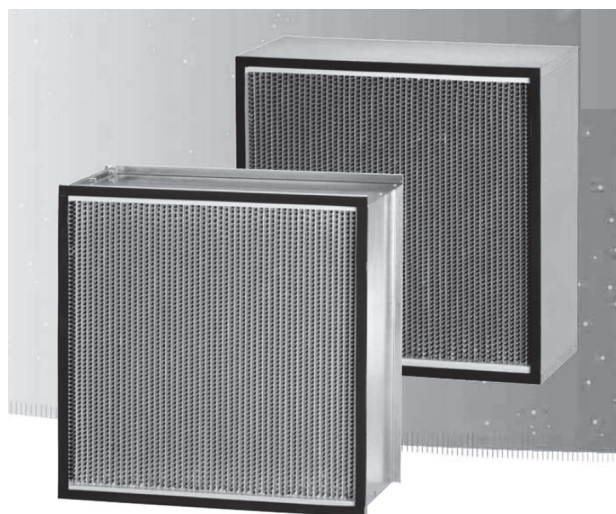
Filtry pro mikročástice – E, H, U – filtry účinné pro částice větší než $0,01 \mu\text{m}$. Filtrační vrstvy jsou tvořeny převážně skládaným hydrofobním papírem, který je ze skelných mikrovláken (průměr

vlákna je 1-10 μm), účinná plocha filtru, který má průřez 1 m^2 je až 20 m^2 . Filtry této třídy musí být odolné vůči desinfekčním prostředkům. Tato skupina obsahuje dva hlavní typy filtrů:

- HEPA filtr – „High efficiency particulate air filter“ (vysoce účinný filtr vzduchových částic) – tento filtr je schopen zachytit částice o velikosti 300 nm (nejobtížněji filtrovatelné) s účinností min. 99,97%. Částice, které jsou větší, resp. menší, dokáže filtrovat s účinností ještě vyšší. Je konstruován z materiálu, který je tvořen náhodně uspořádanými vlákny, kde důležitými parametry jsou: šířka a vzdálenost vláken, tloušťka celého filtru. Tento filtr byl používán za 2. světové války při vývoji atomové bomby, kdy zabraňoval kontaminaci vzduchu radioaktivními částicemi. Dále je dnes docela běžně používán jako výstupní prachový filtr u vysavačů, kdy dokáže zachytit velmi jemné prachové částičky či alergeny. Mimo jiné dokáže zachytit viry, olejový kouř ve stavu vzniku, zbytky výparů mořské soli, tabákový kouř apod. Ve vzduchotechnice se používá jako koncový filtr pro čisté prostory od ISO Třídy 4 (civilní obranná zařízení, nemocnice s nejvyššími požadavky na kvalitu vzduchu, farmaceutický průmysl apod.). Filtry lze používat do teploty prostředí 120°C (speciální až 500°C) a relativní vlhkosti vzduchu do 100%.



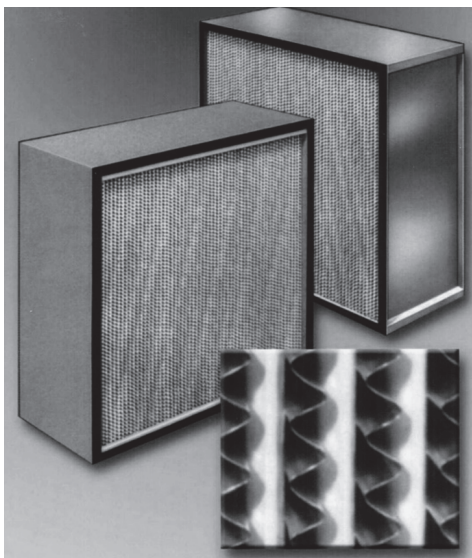
Obr. 7 - Detail HEPA filtru [zdroj: retsel.com.au]



Obr. 8 - HEPA filtr [zdroj: img.directindustry.com]

- ULPA filtr – „Ultra-low penetration air“ – Vhodné jako koncové filtry od třídy ISO 1. Dokáže zadržet ještě více částic než HEPA filtr. Ze vzduchu může odstranit min. 99,999% prachu, pylu, plísní, bakterií a všechny poletující částice o velikosti 120 nm a větší. Používají se pro extrémně čisté prostory ve zdravotnictví (popáleninové jednotky intenzivní péče,

superaseptické operační sály, transplantační jednotky a prostory, kde se pracuje s radiofarmaky).



Obr. 9 - ULPA filtr

Existují 4 mechanismy zachytávání (zadržení) částic u HEPA a ULPA filtrů:

- **Efekt síta**

Když je vzdálenost mezi dvěma vlákny menší než-li velikost (průměr) částice. Tento způsob zachytávání je nežádoucí u vysoce efektivních filtrů. Povrch filtrů se rychle zanáší a poté je obtížné pronikání částic hluboko do filtru, krátí se jeho životnost a zvyšuje se tlaková ztráta.

- **Efekt zachycení**

Částice se pohybuje v linii proudu vzduchu, která probíhá velmi blízko k filtračním vláknům, že se jej částice dotýká.

- **Efekt inerce**

Projevuje se u částic, které jsou menší než 1 μm . Zásluhou velké inerce (setrvačnosti) se taková částice, když obíhá vlákno, nemůže vychýlit z linie proudícího vzduchu, a proto se usazuje na vlákne.

- **Efekt difúze**

Významné pro velmi malé částice – menší než 0,1 μm – ovšem v přiměřeně malém množství. V důsledku stálých vazeb s obklopujícími molekulami plynu, je pohyb této částice

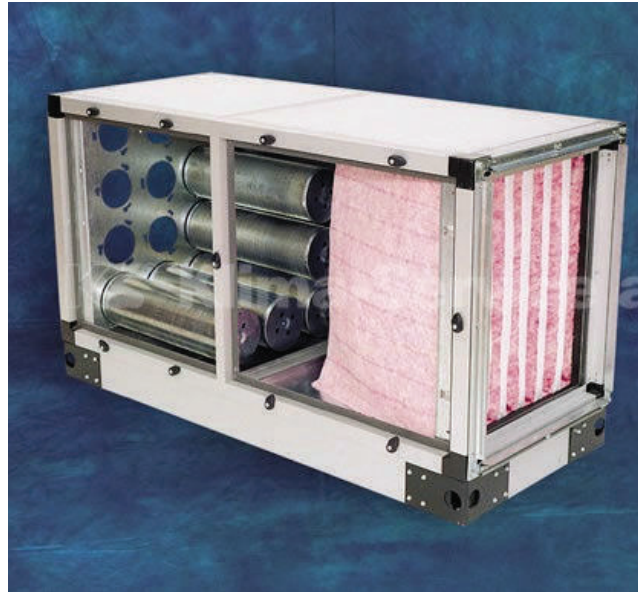
chaotický (Brownův pohyb) a proudí do stran od linie toku proudu vzduchu. Takto se zvyšuje pravděpodobnost styku s vlákny filtru a zachycení těchto částic.

Adsorpční filtry s aktivním uhlím – A – Tyto filtry se používají především k odloučení plynných škodlivin a zápachů. Umí zadržet lehké těkavé uhlovodíky, asfaltové, dehtové a benzinové výpary, výpary z rozpouštědel apod. Jejich využití je vhodné v hotelech, kancelářských a správních budovách (odlučování zápachu), dále při filtraci vzduchu v mikroelektronice, odstranění škodlivých plynů z cirkulujícího vzduchu, snížení SBS (syndrom nemocných budov), zlepšení IAQ („indoor air quality“). Filtrační médium je ze syntetických vláken s velmi malými částicemi adsorbentu. Jako adsorbent je použito impregnované nebo neimpregnované aktivní uhlí.



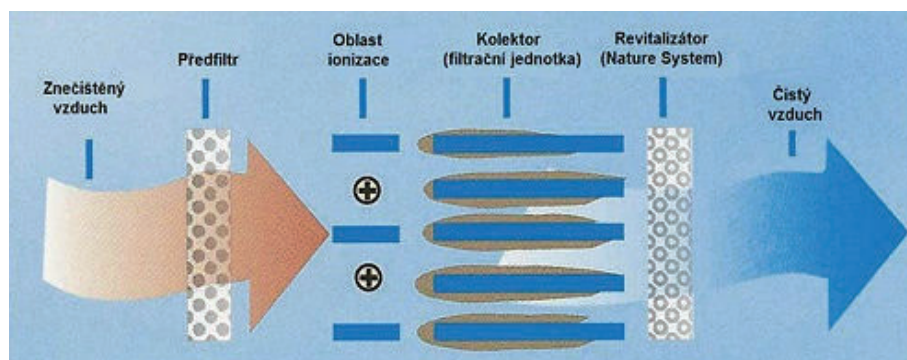
Obr. 10 - Adsorpční filtr [zdroj: ksklimaservice.com]

Absorpční filtry – Hlavní složkou filtru je impregnované aktivní uhlí KMnO_4 na Al_2O_3 , zachytí kyselé stopové plyny, SO_2 , SO_4 , NO_2 , NO_x , HCl , H_2SO_4 , H_2S , HF , Cl_2 . Používá se jako filtrace pro přívod vzduchu pro výpočetní řídicí střediska, počítačové prostory, rozvodné ústředny a dispečinky v korozivním prostředí, odtahy z lakoven, dále jako filtry přívodního a cirkulujícího vzduchu pro mikroelektroniku, muzea, historické knihovny apod. Kompaktní jednotky bývají často vybaveny dvoustupňovou filtrací – kapsové filtry a filtrační patrony. Patrony lze tepelně reaktivovat, ale pouze v případě, že se nejedná o impregnované uhlí (použití výjimečně).



Obr. 11 - Kompaktní jednotka s aktivním uhlím [zdroj: ksklimaservice.cz]

Ionizace vzduchu – používá se v elektrostatických filtrech a je to účinný filtrační nástroj sloužící k zachytávání neživého aerosolu a výrazně zlepšuje kvalitu vzduchu. Ovšem působí destruktivně i na živý aerosol (mikroorganismy), kde je prokázána až 90% účinnost rozkladu různých virů jako např. chřipky.



Obr. 12 - Princip elektrostatických filtračních jednotek s revitalizací vzduchu [zdroj: a-invent.cz]

Německá norma DIN 1946 určuje provedení přívodních, případně odvodních, vzduchotechnických jednotek pro 1. třídu čistoty a to použitím třístupňové filtrace vzduchu. První stupeň na vstupu vnějšího vzduchu do vzduchotechnické jednotky – min. třídy G4, druhý stupeň je umístěn za ventilátorem (mnohdy až jako poslední element celé VZT jednotky) – min. třídy F7 a posledním, tedy třetím, stupněm filtrace je dosaženo použitím HEPA filtru v přívodním prvku – vyústce – min. třídy H12 (dle třídy čistoty prostoru, které má být dosaženo). Do 1. třídy čistoty dle české směrnice

je zařazeno: superseptické operační sály (transplantace orgánů, operace srdce apod.), ostatní prostory (aseptické a septické) jsou zařazeny do 2. třídy čistoty, i přes to, že jsou použity stejné filtry, rozhodujícím faktorem je způsob proudění vzduchu.

Kombinování vzduchových filtrů pro čisté prostory

Obvykle se pro čisté prostory používá třístupňová filtrace vzduchu:

- **První stupeň**

Filtr se střední efektivitou (odlučivost částic ze vzduchu) typu F (někdy G) pro ochranu klimatizační jednotky.

- **Druhý stupeň**

Vysoce efektivní filtr typu F, který zajišťuje čistotu vzduchotechnické distribuční sítě, je umístěn většinou na konci VZT jednotky.

- **Třetí stupeň**

Jedná se o HEPA nebo ULPA filtr pro zabezpečení velmi vysoké kvality čistoty přiváděného vzduchu. Obvykle umístěn na koncovém prvku.

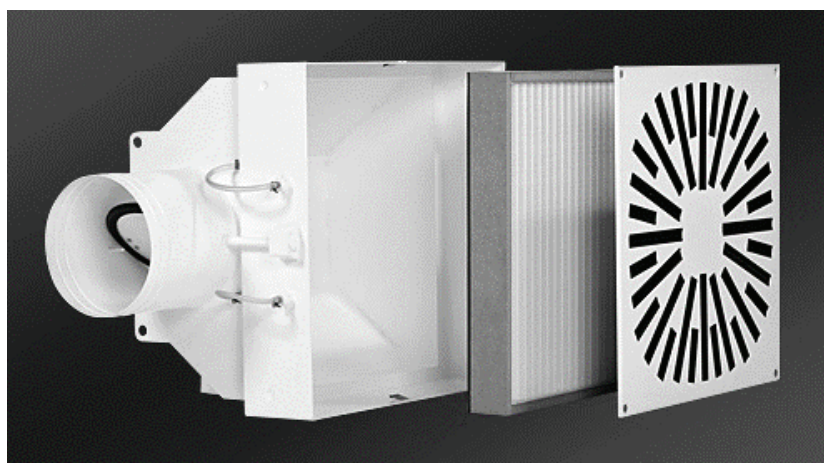
Třída čistoty	1. stupeň	2. stupeň	3. stupeň
ISO 5	F6	F9	H14
ISO 6	F6	F9	H13
ISO 7	F6	F9	H12
ISO 8	F6	F9	H11

Přívodní prvky obsahující 3. stupeň filtrace

Přívodní prvky – vyústky – jsou koncové elementy vzduchotechnických distribučních rozvodů a jejich volba je rozhodující pro způsoby proudění vzduchu ve větrané místnosti. V čistých prostorech bývá do koncového prvku integrován filtr, který zajišťuje dostatečný třetí stupeň

filtrace přiváděného vzduchu. Existují dvě varianty jak zajistit filtraci – čisté nástavce a laminární stropy.

Čisté nástavce – koncový prvek, který je tvořen skříní z ocelového lakovaného plechu. V bočních nátrubcích, pro přívod vzduchu, může být vložena vzduchotěsně uzavírací klapka – uzavíratelná manuálně nebo elektronicky. Nástavec je vybaven kontrolním zařízením těsnosti vloženého filtru a připojovacím místem pro manometr. Na nástavec je možno připevnit různé typy vyústek (pomocí centrálního nebo čtyřbodového upevnění). Nástavec je vhodný pro montáž do pohledů, stropů s důrazem na těsnost uložení do konstrukce.



Obr. 13 - Čistý nástavec [zdroj: gealvz.cz]

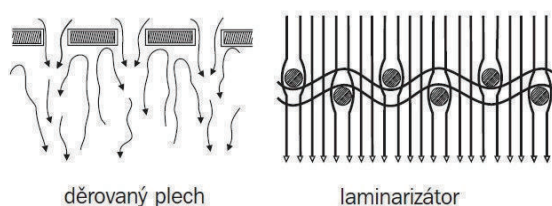
Laminární strop – jedná se o přívodní tlakové stropy s laminárním prouděním vzduchu. Je to typický prvek pro přívod vzduchu např. na operační sály, splňují nejvyšší hygienické i technické požadavky, včetně filtrace (E12 – U16) a distribuce vzduchu do čistých prostor. Koncová výust' je tvořena dvojítm laminarizátorem ze speciální jemné mikrotkaniny, která vytváří laminární výtláčné proudění pod celým prostorem stropu. Laminární podstropní skřín' se zpravidla skládá z:

- Kovové (nejčastěji hliníkové) skříně umístěné v pohledu nebo zavěšené na stropní konstrukci, musí být odolná vůči desinfekčním přípravkům. Tlaková ztráta skříně se běžně pohybuje v rozmezí 25 – 50 Pa, tudíž je nutno dbát na dobře provedené utěsnění takové zařízení.

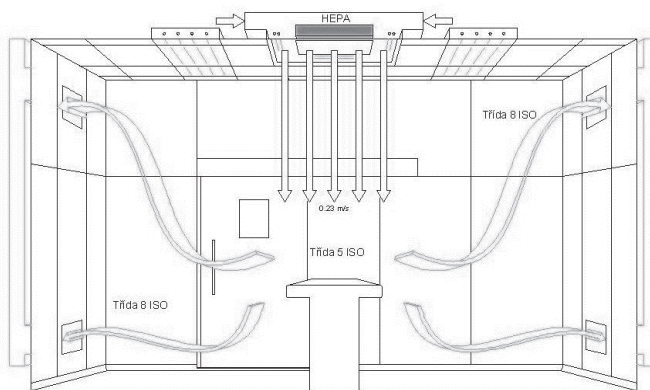
- Připojovacího hrdla pro vzduchotechnické potrubí.
- Vysoce účinných filtrů – HEPA, třídy H12 - H14, které mohou být uloženy dvojitým způsobem.

Možnosti uložení filtrů:

- První způsob, kdy jsou celkem 4 filtry uloženy svisle. Přívodní vzduchovody jsou napojeny do svislých stěn tlakové komory a filtry jsou vloženy do nástavce připojovacího potrubí. Musí být zaručena dokonalá těsnost uložení těchto filtrů, jinak hrozí obtékání vzduchu přes netěsnosti. Tlaková ztráta v počátečním stavu (při neznečištěných filtrech) se pohybuje v intervalu 150 – 200 Pa.
 - Druhý způsob, kdy jsou pouze 2 filtry horizontálně uloženy. Laminární strop je složen ze dvou tlakových komor, které jsou umístěny nad sebou. Filtry se nachází mezi komorou s připojovacími nástavci přiváděného vzduchu a druhou komorou, která je zakončena laminarizátorem. I přes značné nevýhody tohoto způsobu, jako jsou např. zhoršené akustické a hydraulické vlastnosti, je vhodný pro rekonstrukce, protože umožňuje snížení výšky skříně a má menší počet připojovacích míst než první způsob.
- Laminarizátory - je to velkoplošná vzduchová výust', která je potažena dvěma vrstvami jemné mikrotkaniny. Toto netradiční uspořádání umožňuje při dané rychlosti vzduchu laminární výtlačné proudění. Indukce a víry jsou omezeny na minimum a téměř se nevyskytují (pouze v okrajových oblastech výustky). Díky rychlosti vzduchu v proudovém poli (cca 0,25 m/s) se nečistoty (např. prachové částice) bezprostředně přímou cestou odvádějí. Tímto je v oblasti pod výustí dodržena velmi vysoká třída čistota prostoru.



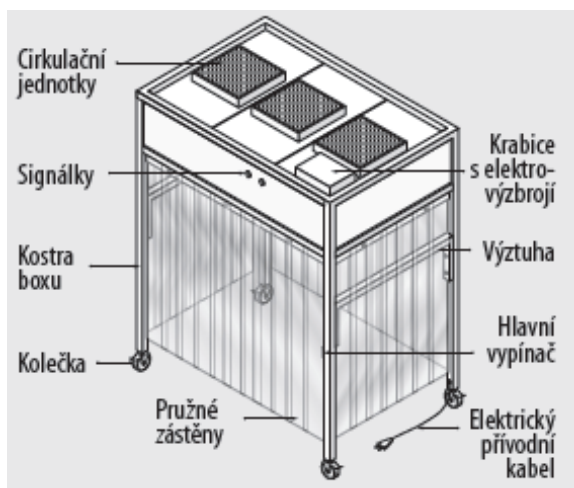
Obr. 14 - Charakteristika proudu za výustí s děrovaným plechem v porovnání s laminarizátorem [zdroj:ksklimaservice.cz]



Obr. 15 - Schéma operačního sálu s laminárním stropem [zdroj: akcmed.cz]

Filtrační nástavce bývají opatřeny manometrem (měření tlakové ztráty). Součástí těchto zařízení mohou být i svítidla, jejich tvar je uzpůsoben tak, aby významně nenarušovaly proudění přírodního vzduchu.

Přemístitelný laminární box – nebo také FlowBox je mobilní (laboratorní) zařízení osazené cirkulačními jednotkami s účelem zajistit uvnitř tohoto boxu (stěny jsou tvořeny pružnými zástěnami, zvyšují účinek ochrany produktu) uzavřené pracoviště s rovnoměrným prouděním vzduchu, dostatečným osvětlením a požadovanou třídou čistoty. Součástí tohoto boxu je pohyblivý přívodní kabel (6 – 8 m), který umožňuje téměř volnou manipulaci s boxem po místnosti.



Obr. 17 - Schéma přemístitelného laminárního boxu [zdroj: block.cz]



Obr. 16 - Přemístitelný laminární box [zdroj: block.cz]

Odvodní prvky

K odvodu vzduchu z čistých prostor se používají běžné odvodní koncové elementy, jako jsou vyústky (vířivé vyústky, anemostaty apod.). Vyústky mohou být osazeny kovovým nebo vláknovým filtrem pro zachycení prachu. Prach v čistém prostoru je převážně tvořen textilními vlákny (organického původu) a mohl by se usazovat ve vzduchotechnickém potrubí. Vzhledem k hořlavosti těchto částic se zvyšuje riziko vzniku a šíření požáru. Důležité je i umístění odvodních elementů, aby nebylo narušeno proudění vzduchu. Odvodní prvky vzduchotechniky mohou být umístěny i pod perforovanou podlahou.



Obr. 18 - Ukázka odvodního prvku [zdroj: vkv-pardubice.cz]

Vzduchotechnické potrubí a jeho údržba

Vzduchotechnické potrubí musí mít hladký povrch a musí být vyrobeno z nezávadného materiálu, vhodného pro proudění vzduchu (např. pozinkovaný plech, nerez). Uvnitř potrubí nemusí být vedeny žádné instalace, kabeláže apod., které by mohly bránit proudění vzduchu či jinak narušovaly správnou funkci vzduchotechniky. Jsou vyžadovány vyšší požadavky, co se týče vzduchotěsnosti potrubí. Vzduchotěsnost potrubí je kategorizována dle DIN EN 12237 hodinovým objemem unikajícího vzduchu:

- Třída A – 21,10x objem součástí vzduchotechnického potrubí.
- Třída B – 7,00x objem součástí vzduchotechnického potrubí.
- Třída C – 2,30x objem součástí vzduchotechnického potrubí.
- Třída D – 0,78x objem součástí vzduchotechnického potrubí.

Patřičnou vzduchotěsností potrubí se sníží i náklady na provoz vzduchotechnické jednotky. Dnes se v praxi často nedosahuje vzduchotěsnosti ani třídy A (odpovídající II. třídě vzduchotěsnosti dle DIN

24194). U vzduchotechnického potrubí, které podléhá řízení jakosti odpovídá min. třída vzduchotěsnosti C. Potrubí bývají spojena pryžovými těsněním, v současné době se používají akrylátové a silikonové tmely či různé druhy samolepících hliníkových, textilních, PVC a PE pásek vhodné pro použití v oblasti vzduchotechnických zařízení.

Vzduchotechnické potrubí musí být udržováno dle nejpřísnějších kritérií a požadavků na čistotu. Čištěním se zabývají specializované firmy, které používají pro čištění např. speciální čistící roboty. Potrubí musí být také odolné proti použití různých desinfekčních a čistících přípravků. Čištění potrubí probíhá způsobem, kdy je na speciálního robota, který je dálkově ovládán, dále vybaven videokamerou a osvětlením, připevněn rotující kartáč – dosahující až 1000 otáček/min (resp. tryska pro tlakový vzduch či jiné příslušenství vhodné pro čištění vzduchotechnických rozvodů). K čištění svislého potrubí se používají speciální rotační kartáče, které jsou poháněny motorovou jednotkou. Kartáče jsou přizpůsobeny pro všechny obvykle profily (průřezy) vzduchotechnického potrubí.



Obr. 19 - Sestava k čištění VZT potrubí [zdroj: alkion.eu]



Obr. 20 - Čistící robot [zdroj: alkion.eu]

Typy proudění vzduchu v čistém prostoru

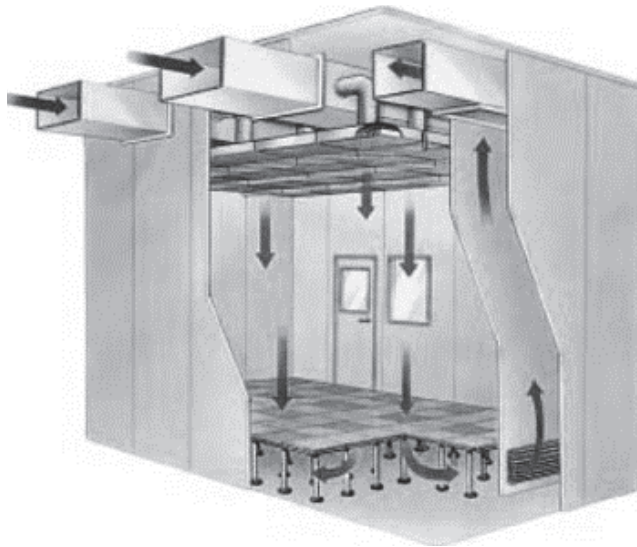
Základní předpokladem správného proudění vzduchu v prostoru je, že vzduch musí z čistého prostoru částice, vzniklé uvolňováním z lidí, zařízení a materiálů, odnášet pryč. Vzduchový by měl obtékat veškeré konstrukce v prostoru a odstraňovat tak nežádoucí částice z jejich povrchů. V zásadě existují dva typy proudění, pro ISO Třídu 5 a čistší se používá jednosměrné tzv. laminární proudění vzduchu, v prostorech ISO Třídy 6 – 9 je vyhovující nejednosměrné (nelaminární) proudění.

Jednosměrné proudění vzduchu

Princip laminárního proudění vzduchu spočívá ve vytvoření kompaktního proudu vzduchu, který prošel filtrací a malou rychlostí klesá směrem k podlaze (za předpokladu přívodu vzduchu u stropu) nebo proudí vodorovně mezi svislými konstrukcemi. K turbulencím vzduchu dochází pouze v okrajových částech vzduchového válce. Částice, které se pohybují v okrajích laminárního pole, již nejsou schopny kontaminovat čistý prostor. Při návrhu laminárního proudění je ale nutné dbát na teplotní rozdíly vzduchu v místnosti a vzduchu přiváděného. Tato teplotní diference má totiž nezanedbatelný vliv na směr, rychlost a celkovou kvalitu proudícího vzduchu.

Pro vytvoření laminárního proudění je výhodné použití velkoplošných stropních přívodních prvků, které díky své konstrukci (velká plocha) vytvářejí konstantní proud vzduchu o malé rychlosti (0,2 – 0,45 m/s) pod celou plochou přívodu. U tohoto typu řešení přívodu vzduchu nemusí být odvod vzduchu umístěn v podlaze, ale dostatečné jsou odvodní prvky umístěné ve svislých konstrukcích.

Ve všech místech průřezu proudu vzduchu by měla být stejná čistota přiváděného vzduchu. Nejvyšší úroveň čistoty je samozřejmě co nejbližší přívodnímu prvku. S rostoucí vzdáleností od vyústky ve směru toku proudu vzduchu roste pravděpodobnost znečištění.



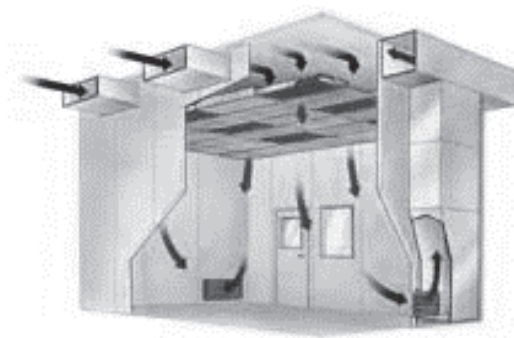
Obr. 21 - Laminární (jednosměrné) proudění vzduchu - vertikální [zdroj: mundohvacr.com]

Nejednosměrné proudění vzduchu

Princip nelaminárního proudění vzduchu spočívá v ředění vzduchu v čistém (kontrolovaném) prostoru přiváděným vzduchem (přes filtry) do daného prostoru. Tento způsob proudění vzduchu je vhodný především do prostor s nižšími požadavky na čistotu vzduchu.

V tomto případě je kladen důraz na kvalitu filtrace a co možná nejmenší turbulentní proudění vzduchu při konstantní rychlosti. Turbulence je nejvýraznějším nedostatkem takto větraných prostor, při jejím výskytu mohou být nežádoucí částice odneseny odtahem mimo kontrolovaný prostor, cirkulují v místnosti a posléze mohou kontaminovat okolí.

Není zde použito velkoplošné zaplnění stropu přívodními prvky a odvodní otvory mohou být volně umístěny po místnosti. Také je zde možnost vzniku mrtvých tzv. stagnačních zón, které nejsou obtékány čistým vzduchem, a tudíž není odváděno ani vzniklé znečištění.



Obr. 22 - Nelaminární proudění v místnosti [zdroj: elfa-aaf.cz]

Intenzita výměny vzduchu

Intenzita výměny vzduchu se vyjadřuje číslovkou charakterizující počet vzduchových výměn v dané místnosti za 1 hod. Je to důležitá charakteristika čistých prostor spadajících do

kategorie ISO 6 – 8. Důležitým parametrem je min. výměna za hodinu, ovšem níže uvedené data jsou informativní, je nutno přistupovat individuálně ke každému projektu.

Měření podmínek v čistých prostorech pro splnění norem

Základním předpokladem čistých prostor je splnění kvality vnitřního prostředí tak, aby byla dodržena daná třída čistoty. Je nutné měřit jednotlivé charakteristiky vnitřního mikroklimatu v čistých prostorech – tlak, teplotu, vlhkost, velikost koncentrace částic v prostoru. Jednotlivé vlastnosti měří speciální zařízení.

Třída čistoty dle ISO 146144-1	Průměrná rychlost proudu vzduchu [m/s]	Výměna vzduchu [h^{-1}]	Pokrytí vstupní plochy filtry [%]
1 - 2	0,305 – 0,508	360 – 600	80 – 100
3	0,305 – 0,457	360 – 540	60 – 100
4	0,254 – 0,457	300 – 540	50 – 90
5	0,203 – 0,406	240 – 480	35 – 70

6	0,127 – 0,203	150 – 240	25 – 40
7	0,051 – 0,076	60 – 90	15 – 20
8	0,005 – 0,041	5 – 48	5 – 15

Testování vzduchových filtrů

Filtry jsou nejdůležitější součástí zařízení v čistých prostorech. Jejich rozdělení a vlastnosti jsou uvedeny výše, nicméně je velmi důležité kontrolovat, zda i za provozu vzduchotechnického zařízení splňují vysoce účinné filtry svou funkci – zadržování nečistot.

Princip zkoušky spočívá v tom, že do filtračního systému jsou vstříknuty zkušební aerosoly.

K tomuto měření se používá generátor aerosolu, který dokáže vypustit přesný počet daných částic a poté je pomocí čítače částic, který je umístěn za filtrem, kontrolováno, kolik částic filtr nedokázal zachytit a dostaly se do čistého prostoru.



Obr. 23 - Generátor aerosolu [zdroj: envitech-bohemia.cz]

Měření tlakových rozdílů

Měření tlakových rozdílů probíhá mezi čistým prostředím a prostorem s nižší třídou čistoty vzduchu. Vzduchu proudící z oblasti vyššího tlaku do prostoru s nižším tlakem, z toho vyplývá, že vyšší tlak by měl být situován do čistých prostor. Tím bude zajištěno, že nebude docházet ke kontaminaci částicemi z méně čistých prostor.

Měření koncentrace částic ve vzduchu

Nejvýznamnější zkouška čistých prostor, kterou ověřujeme, zda daná kvalita vzduchu odpovídá návrhu čistých prostor. Tento test se provádí jako poslední zkouška.

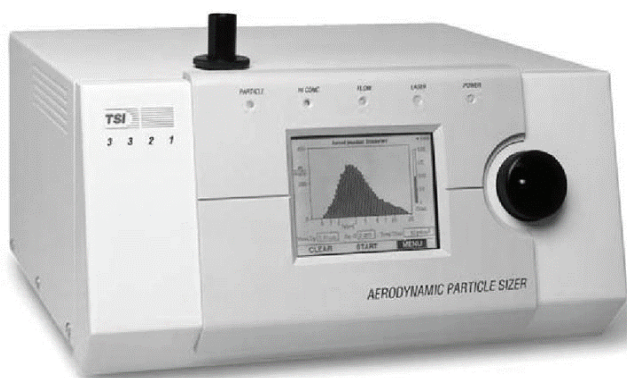
Čítač částic

Zařízení sloužící ke zjištění počtu a velikosti částic

ve vzduchu. Nejběžněji používané jsou laserové čítače, které dokáže měřit počet i velikost částic pomocí odraženého světla. Zdrojem je laserová dioda, případně helium-neonový laser (pro větší citlivost při měření). Do objektivu zařízení je soustředěno rozptýlené světlo a je převedeno na elektrické impulsy. Kolísání naměřených hodnot impulsů je v poměru k velikosti částic a počet těchto impulsů odpovídá počtu částic.



Obr. 24 - Snímač tlakové difference [zdroj: sauter.cz]



Obr. 25 - Přenosný čítač částic [zdroj: tsi.com]



Obr. 26 - Ruční čítač částic [zdroj: irtek.cz]

Měření koncentrace částic v prostoru

Pro klasifikaci daného čistého prostoru je odebrán dostatečný počet vzorků vzduchu pro ověření, zda koncentrace částic ve vzduchu odpovídá dané třídě čistoty ISO. Počet míst odběru vzorků a jejich počet musí reflektovat velikost místnosti a její požadovanou čistotu. Vzorky vzduchu musí mít patřičný objem, aby bylo možné výsledky správně vyhodnotit.

Podle normy ČSN EN 14644-1 je min. počet míst k odběru vzorků určen dle následujícího vztahu:

$$N_L = \sqrt{A}$$

kde: N_L – min. počet míst odběru vzorku (zaokrouhleno na celé číslo)

A – prostor, kde je koncentrace posuzována [m^2]

Odběr se provádí v pracovní výšce, pro kterou je daný prostor navrhován.

Objem vzorku vzduchu

Pro dostatečný objem vzorku vzduchu z čistých prostor je stanoven tento vztah:

$$V = \left(\frac{20}{C}\right) \cdot 1000$$

Kde: V – min. objem vzorku vzduchu na určitém místě [l]

C – max. počet částic dle normy [počet částic/ m^3]

Min. objem vzorku je stanoven na 2 litry a doba měření by neměla být menší než 1 minutu.

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

Stavebně-konstrukční část

Vzhledem k přísným hygienickým požadavkům na čisté prostory je nutné provést i specifické stavební konstrukce. Důraz se klade na co nejméně vodorovných ploch, na kterých by se mohl usazovat prach či jiné nežádoucí částice.

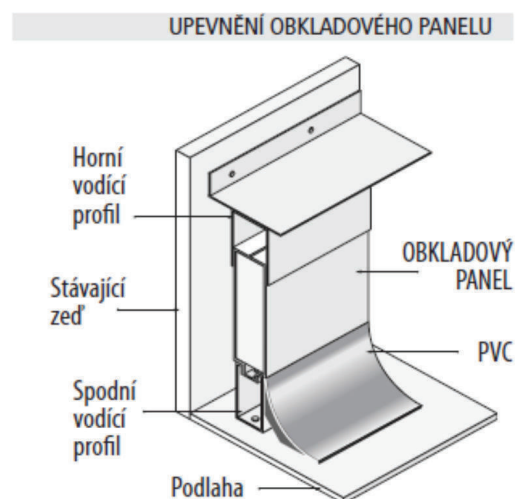
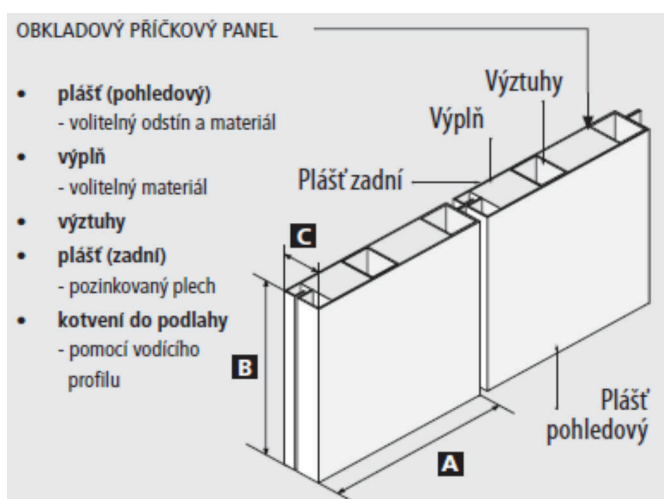
Svislé konstrukce

Svislá nosná konstrukce je tvořena skeletovým systémem z železobetonových sloupů. Jako výplňové zdivo jsou použity tvárnice YTONG.

Stěny jsou navíc tvořeny obkladovými příčkovými panely s tepelně izolační výplní, výrobce FORCLEAN.

Povrchová úprava panelů: oboustranně zinkovaný ocelový plech povrchově upravený, odstín RAL 6027 (světle zelená).

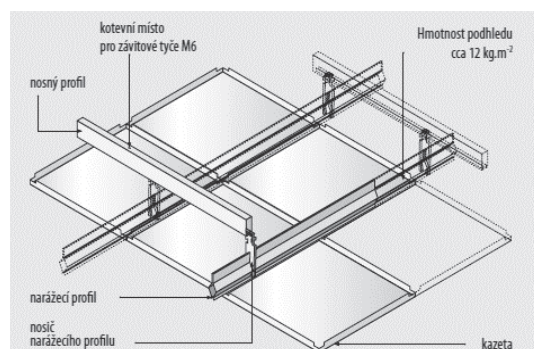
Výplň: Nobasil - plst s tepelnou, zvukovou a protipožární izolací, tl. 30 mm, $\lambda_{\text{Nobasil}}=0,040 \text{ W/m.K}$, hořlavost A, $\rho_{\text{Nobasil}}=100 \text{ kg/m}^3$



Vodorovné konstrukce

Nosná stropní konstrukce je tvořena železobetonovými průvlaky, na kterých jsou uloženy ŽB desky.

Konstrukce podhledu (lehký kovový) má výšku 1000 mm a jsou v ní vedeny veškeré rozvody (VZT, elektro apod.).



Dveře dvoukřídlové posuvné - FORCLEAN

Základní technické údaje:

světlá šířka: 1800 mm, světlá výška: 2100 mm, tloušťka dveří: 52 mm

materiál: pozinkovaný plech v odstínu RAL 9010 chráněný PE fólií



Osvětlení

Návrh svítidel

$$\Phi_C = \frac{E_{PK} \cdot S}{\eta_E \cdot z} = 82476,78 \text{ lm}$$

$S = 53,28 \text{ m}^2$... velikost osvětlované plochy

$E_{PK} = 1250 \text{ lx}$... požadovaná průměrná osvětlenost

$z = 0,95$ - ... udržovací činitel (zohledňuje snižování účinnosti světelných zdrojů)

$\eta_E = 0,85$ - ... činitel využití osvětlovací soustavy (závislý zejména na odrazných vlastnostech světelně činných ploch)

Zářivkové svítidlo ForClean Light Bn/P/N

Technické

parametry

Svítivost: 10007,4 lm, hmotnost: 7,8 kg, rozměr: 625x625 mm, příkon: 110 W, krytí: IP 54, vyhotovení: prizmatické

Počet svítidel

$$n_{\text{svítidel}} = \Phi_C / \Phi_{\text{svítidlo}}$$

$$n_{\text{svítidel}} = 9 \text{ ks}$$



Perforovaná podlaha - návrh pro II. variantu

Výška konstrukce podlahy je 300 mm.

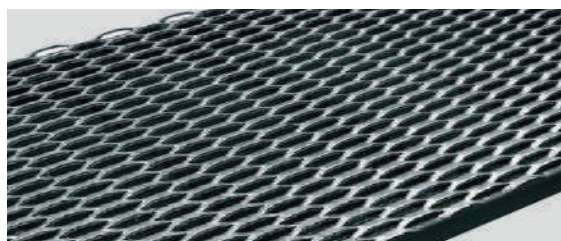
Nášlapná vrstva je tvořena ocelovým roštem z tahokovu, který je uložen na ocelových válcovaných profilech.

Výška ocelového roštu je 40 mm. Efektivní průtočná plocha je 27,2 %.

$$S_{\text{průtok}} = 14,492 \text{ m}^2$$

$$\text{Průtok vzduchu (odvod podlahou): } 5000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rychlost proudění vzduchu u podlahy: } 0,10 \text{ m/s}$$

**Tepelné bilance objektu****Součinitelé prostupu tepla konstrukcemi*****Konstrukce A - Obvodové zdivo***

Vrstva	Tloušťka materiálu	Součinitel měrné tep. vodivosti	Tepelný odpor materiálu	Specifikace materiálu
	$d [m]$	$\lambda [W.m^{-1}.K^{-1}]$	$R [m^2.K.W^{-1}]$	-
Fasádní obklad	0,010	0,360	0,028	plech (TRP)
Tepelná izolace - minerální vata	0,150	0,035	4,286	Rockwool Superrock
Výplňové zdivo	0,300	0,096	3,125	porobeton (YTONG)
Obkladová deska	0,030	0,040	0,750	příčkový panel ForClean

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.K.W^{-1}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.K.W^{-1}$$

$$U = 0,12 \text{ W.m}^{-2}.K^{-1}$$

$$U_{\text{rec},20} = 0,20 \text{ W.m}^{-2}.K^{-1}$$

Konstrukce B - Podlaha na zemině

Vrstva	Tloušťka materiálu	Součinitel měrné tep. vodivosti	Tepelný odpor materiálu	Specifikace materiálu
	$d [m]$	$\lambda [W.m^{-1}.K^{-1}]$	$R [m^2.K.W^{-1}]$	-
Nášlapná vrstva - PVC	0,005	0,160	0,031	plech (TRP)
Roznášecí vrstva - betonová deska	0,060	1,300	0,046	armovaná betonová deska
Tepelná izolace - minerální vata	0,120	0,039	3,077	Rockwool Steprock HD
Podkladní beton - ŽB deska	0,200	1,300	0,154	armovaná betonová deska

$$R_{si} = 0,17 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$R_{se} = 0 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$U = 0,29 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

$$U_{rec,20} = 0,30 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

Konstrukce C - Vnitřní stěna (mimo strojovnu)

Vrstva	Tloušťka materiálu	Součinitel měrné tep. vodivosti	Tepelný odpor materiálu	Specifikace materiálu
	$d [m]$	$\lambda [W.m^{-1}.K^{-1}]$	$R [m^2.K.W^{-1}]$	-
Obkladová deska	0,030	0,040	0,750	příčkový panel ForClean
Zdivo z příčkovek	0,150	0,170	0,882	YTONG příčkovky
Vnitřní omítka	0,010	0,800	0,013	Rockwool Steprock HD

$$R_{si} = 0,17 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$R_{se} = 0,17 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$U = 0,50 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

$$U_{rec,20} = 1,80 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

Konstrukce D - Vnitřní stěna (strojovna)

Vrstva	Tloušťka materiálu	Součinitel měrné tep. vodivosti	Tepelný odpor materiálu	Specifikace materiálu
	$d [m]$	$\lambda [W.m^{-1}.K^{-1}]$	$R [m^2.K.W^{-1}]$	-
Vnitřní omítka	0,030	0,040	0,750	štuková omítka
Zdivo z příčkovek	0,150	0,170	0,882	YTONG příčkovky
Zvuková izolace	0,080	0,035	2,286	Rockwool Rockton
Vnitřní omítka	0,010	0,800	0,013	Rockwool Steprock HD

$$R_{si} = 0,17 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$R_{se} = 0,17 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$U = 0,23 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

$$U_{rec,20} = 1,80 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

Konstrukce E - Strop nad 1.NP

Vrstva	Tloušťka materiálu	Součinitel měrné tep. vodivosti	Tepelný odpor materiálu	Specifikace materiálu
	$d [m]$	$\lambda [W.m^{-1}.K^{-1}]$	$R [m^2.K.W^{-1}]$	-
Obkladová deska	0,010	0,800	0,013	podhled ForClean
Stropní konstrukce	0,250	1,740	0,144	železobetonová konstrukce
Zvuková izolace	0,050	0,039	1,282	Rockwool Steprock HD
Roznášecí vrstva	0,050	1,400	0,036	armovaná betonová deska
Nášlapná vrstva	0,005	0,160	0,031	PVC

$$R_{si} = 0,17 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$R_{se} = 0,17 \quad m^2.K.W^{-1}$$

$$U = 0,54 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

$$U_{rec,20} = 1,80 \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

Výpočet tepelných ztrátVýpočet tepelné ztráty prostupem pro místnost č.101 - LABORATOR

Tepelné ztráty zeminou

PO01	Podlaha na terénu	68,400	0,15	10,2600	1,45	0,442	1,0	0,640
------	-------------------	--------	------	---------	------	-------	-----	-------

Celková měrná tepelná ztráta zeminou $H_{t,ig} = (\sum k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w \quad (W/K)$ **6,571**

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

SO01	Obvodová stěna	55,104	0,12	0,05	0,1701	1,00	9,372
------	----------------	--------	------	------	--------	------	-------

Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí $H_{t,ie} = \sum k A_k \cdot E_{kc} \cdot e_k \quad (W/K)$ **9,372**Celková měrná tepelná ztráta prostupem $H_{t,i} = H_{t,ie} + H_{t,iue} + H_{t,ij} + H_{t,ig}$ **15,942**

$\theta_{int,i}$	θ_e	$\theta_{int,i} - \theta_e$	$H_{t,i}$
21	-15	36	15,942

Návrhová ztráta prostupem $\theta_{t,i}$
[W]**573,919**

Výpočet tepelné ztráty prostupem pro místnost č.102 - AIRLOCK

Č.k.	Popis	A_k	$U_{equiv,k}$	$A_k \cdot U_{equiv,k}$	f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$
PO01	Podlaha na terénu	15,197	0,13	1,9755	1,45	0,442	1,0	0,640

Celková měrná tepelná ztráta zeminou $H_{t,ig} = (\sum k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ (W/K)**1,265**Celková měrná tepelná ztráta prostupem $H_{t,i} = H_{t,ie} + H_{t,iue} + H_{t,ij} + H_{t,ig}$ **1,265**

$\theta_{int,i}$	θ_e	$\theta_{int,i} - \theta_e$	$H_{t,i}$
21	-15	36	1,265

Návrhová ztráta prostupem $\theta_{t,i}$ [W]

45,546Výpočet tepelné zátěže

Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla

Přístroje pro testování elektrotechnických součástek, mikroskopy, speciální technika apod. **$Q_{přístroje} = 4000$ W***Počítače* **$Q_{PC} = 625$ W**

Tepelná zátěž vnějších stěn

 $Q_s = 441,756$ W $\delta = 0,45$ m $t_e = 28,807$ °C $U_s = 0,12$ W.m⁻².K⁻¹ $m = 0,1307$ - $I = 141$ W/m² $t_{rm} = 34,447$ °C $\psi = 13,9$ h $S = 273,6$ m²

Tepelné zisky od lidí

 $Q_l = n_l \cdot 6,2 \cdot (36 - t_i)$

počet: 25 osob

 $Q_l = 2325$ W

Tepelné zisky od svítidel

 $Q_{sv} = n \cdot P \cdot C_1 \cdot C_2$ **$Q_{sv} = 880$ W** $P = 110$ W

... elektrický příkon svítidel

 $C_1 = 1,0$ -

... součinitel využití svítidel

 $C_2 = 1,0$ -

... zbytkový součinitel respektující přímé odsávání tepla od svítidel

 $n = 8$ ks

... počet svítidel

Vodní zisky

$$Q_v = 2250 \text{ g/h}$$

$$M_w = 0,6250 \text{ g/s}$$

$Q_{\text{celkem}} =$	8,272	kW
-----------------------	--------------	-----------

Výpočet požadované teploty přívodního vzduchu

$Q_{\text{ztráta}}$	tepelná ztráta	619,465 W	0 W
Q_{zisk}	tepelné zisky	6950 W	8272 W
Q	výsledná tepelná ztráta (resp. zisk)	-6330,535 W	-8272 W
t_e	teplota venkovního vzduchu	-15 °C	29 °C
t_i	teplota vnitřního vzduchu	21 °C	21 °C
ρ	hustota vzduchu	1,37 kg/m ³	1,17 kg/m ³
c	měrná tepelná kapacita	1010 J/kg.K	1010 J/kg.K
t_p	teplota za ohřívacem/chladičem	$t_p = [Q/c.p.V] + t_i =$	
		20,999 °C	20,999 °C
V	průtok vzduchu	7040 m ³ /h	7040 m ³ /h

Potřebný výkon vodního ohříváče* /chladiče/** k pokrytí tep. ztrát /zisků/ daného prostoru	-6,33	kW	-8,27	kW
---	--------------	-----------	--------------	-----------

*k pokrytí tepelných ztrát místnosti (bez zohlednění výměny vzduchu - obsaženo v návrhu jednotky)

**k pokrytí tepelné zátěže (bez zohlednění výměny vzduchu - obsaženo v návrhu jednotky)

K pokrytí ztrát/zisků bez zohlednění výměny vzduchu je nutný pouze potřebný výkon k chlazení.

Navržený průtok vzduchu

n	min. počet výměn vzduchu v daném prostoru	30 h ⁻¹
O	objem místnosti (laboratoř + airlock)	231,872 m ³
V	min. průtok vzduchu	6956,16 m ³ /h
V_1	navržený průtok pro I. variantu	7020 m ³ /h
V_2	navržený průtok pro II. variantu	7040 m ³ /h

Tepelná ztráta větráním**Tepelná ztráta větráním pro 1.NP**

U	účinnost výměníku	60 %	43 %
		ZIMA	LÉTO
t_e	teplota venkovního vzduchu	-15 °C	29 °C

t_i	teplota vnitřního vzduchu	21 °C	21 °C
ρ	hustota vzduchu	1,38 kg/m ³	1,38 kg/m ³
c	měrná tepelná kapacita	1010 J/kg.K	1010 J/kg.K
$t_{p,r}$	teplota za výměníkem		
	$t_{p,r}=t_e+U \cdot (t_i-t_e)=$	6,6 °C	25,56 °C
V	průtok vzduchu	7040 m ³ /h	7040 m ³ /h
Q_{stz}	snížení tepelné ztráty /zisku/ větráním		
	$Q=(V/3600) \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{p,r}-t_e)=$	58874,11 W	9376,25 W
Q	tepelná ztráta /zisk/ větráním		
	$Q=(V/3600) \cdot \rho \cdot c \cdot (t_p-t_e)=$	106300,48 W	24530,88 W

Tepelná ztráta větráním	47426,368 W	
Tepelné ztráty prostupem a infiltrací	-6330,54 W	

Tepelné zisky větráním		15154,63 W
Tepelné zisky (ostatní)		8272 W

Celkový potřebný výkon vodního ohříváče /chladiče/	41,10 kW	23,43 kW
---	-----------------	-----------------

1.VARIANTA

Stručný popis:

V první variantě je navržen vzduchotechnický systém zajišťující veškeré požadavky, hlavně co se týče odvlhčení vzduchu. V této verzi je funkce chladiče zastoupena přímým výparníkem, který dokáže přívodní vzduch ochladit na požadovanou teplotu, aby došlo k požadovanému odvlhčení vzduchu. Viz h-x diagramy.

Dimenzování přívodního potrubí													
Úsek	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Návrhová rychlost vzduchu	Průtočná plocha potrubí	Minimální průměr průtočné plochy	Rozměr potrubí		Návrhový průměr průtočné plochy	Rychlost vzduchu	Měrná tlaková ztráta - potrubí	Součet součinitelů vřazených odporů tvarovek	Tlaková ztráta místními odpory	Celková tlaková ztráta úseku
u	$V [m^3/h]$	L [m]	$v' [m/s]$	$S [m^2]$	$d' [m]$	š [m]	v [m]	d [m]	$v [m/s]$	R [Pa/m]	$\xi [-]$	Z [Pa]	Z+R·L [Pa]
1	780,0	1,40	3,5	0,0619	0,2807	0,400	0,315	0,401	1,720	0,14	3,4	6,04	6,231
2	1560,0	1,00	3,6	0,1204	0,3915	0,400	0,400	0,451	2,708	0,21	0,55	2,42	2,632
3	2340,0	1,25	3,7	0,1757	0,4729	0,450	0,400	0,479	3,611	0,31	0,3	2,35	2,741
4	3120,0	1,00	3,8	0,2281	0,5389	0,560	0,400	0,534	3,869	0,31	0,55	4,94	5,252
5	3900,0	1,00	3,9	0,2778	0,5947	0,710	0,400	0,601	3,815	0,22	0,3	2,62	2,835
6	4680,0	1,00	4	0,3250	0,6433	0,710	0,500	0,672	3,662	0,29	0,55	4,43	4,718
7	5460,0	6,40	4,1	0,3699	0,6863	0,800	0,500	0,714	3,792	0,24	0,3	2,59	4,125
8	6240,0	2,80	4,2	0,4127	0,7249	0,800	0,500	0,714	4,333	0,31	0,55	6,20	7,068
9	7020,0	6,70	4,3	0,4535	0,7599	0,800	0,500	0,714	4,875	0,36	5,1	72,76	75,171
Pozn.:													110,773
Tlaková ztráta posledního distribučního prvku - je přibližně 100 Pa.													
Tlaková ztráta flexibilní hadice je přibližně 11 Pa.													
Dimenzování odvodního potrubí													
Úsek	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Návrhová rychlost vzduchu	Průtočná plocha potrubí	Minimální průměr průtočné plochy	Rozměr potrubí		Návrhový průměr průtočné plochy	Rychlost vzduchu	Měrná tlaková ztráta - potrubí	Součet součinitelů vřazených odporů tvarovek	Tlaková ztráta místními odpory	Celková tlaková ztráta úseku
u	$V [m^3/h]$	L [m]	$v' [m/s]$	$S [m^2]$	$d' [m]$	š [m]	v [m]	d [m]	$v [m/s]$	R [Pa/m]	$\xi [-]$	Z [Pa]	Z+R·L [Pa]
1	607,0	4,20	3	0,0562	0,2675	0,400	0,400	0,451	1,054	0,21	1,8	1,20	2,082
2	1214,0	2,22	3,2	0,1054	0,3663	0,400	0,400	0,451	2,108	0,45	0,6	1,60	2,599
3	1821,0	4,44	3,4	0,1488	0,4352	0,400	0,500	0,505	2,529	0,41	0,6	2,30	4,124
4	2428,0	2,22	3,6	0,1873	0,4884	0,400	0,500	0,505	3,372	0,31	0,6	4,10	4,784
5	3035,0	3,00	3,8	0,2219	0,5315	0,400	0,630	0,566	3,345	0,26	0,9	6,05	6,827
6	3642,0	3,40	4	0,2529	0,5675	0,400	0,630	0,566	4,015	0,31	1,8	17,41	18,469
7	6900,0	6,90	4,2	0,4563	0,7623	0,630	0,710	0,755	4,285	0,36	5,02	55,33	57,815
Pozn.:													96,700
Tlaková ztráta posledního odvodního prvku - je přibližně 2 Pa.													
Celkem:													

Návrh ohebného připojovacího potrubí

SONOFLEX MO 254 - Al laminátová hadice, tepelná a hluková izolace 25 mm + parozábrana.

Vnitřní uspořádání jako ALUFLEX MO (info výrobce - Electrodesign).

Tlak. ztráta (přibližná - orientační - pro nataženou hadici)

Přívod (780 m³/h)

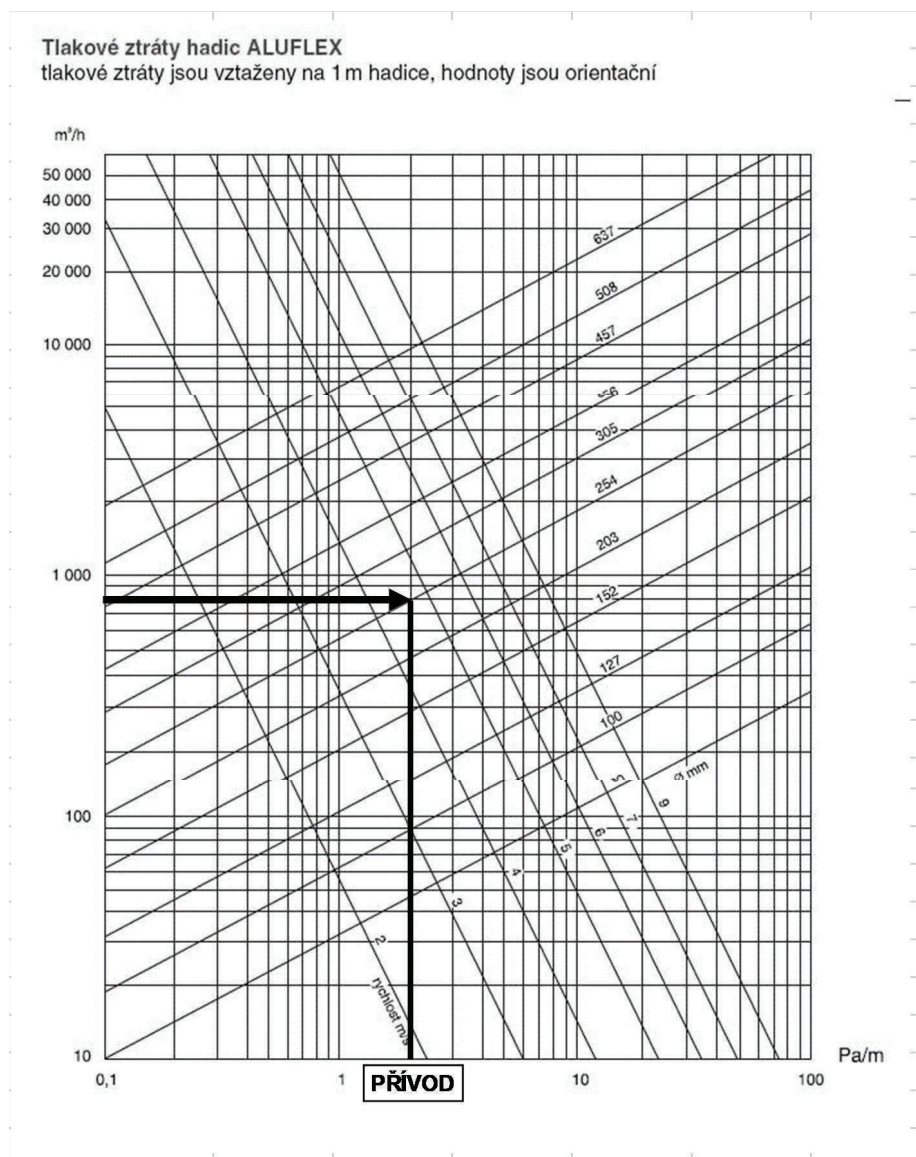
Ø254 mm

2 Pa/m

Posuzováno na nejvzdálenější prvek od VZT jednotky. Délka potrubí 1 m - celková ztráta 2 Pa.

Vložený útlum v dB. Vztaženo na 1 m hadice typ SONOFLEX, síla izolace 25 mm

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
8,5	15	19	16	12,5	9	11,5	7



Návrh distribučního prvku

Distribuční prvek - Přívod vzduchu

Navržen filtrační nástavec PUROFIL s filtrem o rozměru 570x570 mm - typ FNC.

Obsahuje HEPA filtr (H13), který je umístěn na rámu (MDF).

TECHNICKÉ PARAMETRY

	FILTR					DISTRIBUČNÍ ELEMENT				
	Výška média [palce]	Hmotnost [kg]	Průtok [m³/hod]	Počet tlak. ztráta [Pa]	Rychlost proudění [m/s]	Vířivý inovovaný	Vířivý standardní	Vířivý hustý	Perforovaný	Anemostat
HEPA H13 rám MDF 570x570x149 [mm]	1"	5,5	300	86	0,15	ano	ano	ne	ano	ne
	2"	5,5	560	94	0,3	ano	ne	ano	ano	ano
	3"	5,5	760	103	0,45	ano	ne	ano	ano	ano
	4"	5,5	880	116	0,6	ano	ne	ne	ano	ano

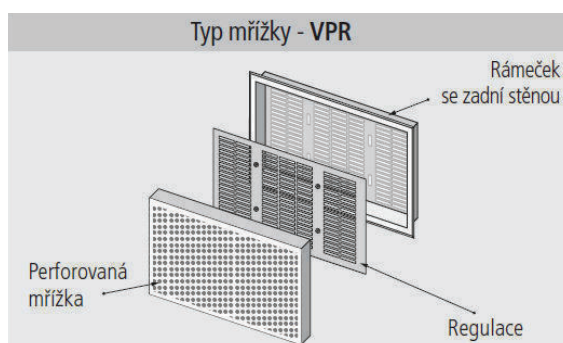
Průtok: 780 m³/h
Tlaková ztráta: 100 Pa

Prvek pro odvod vzduchu

Navržená vzduchotechnická mřížka typ VPR (s regulací) - odsávací stěnová mřížka.

Velikost 600x400 mm, max. průtok vzduchu: 782 m³/h (při w=3 m/s).

Volná plocha: 30%, efektivní plocha: 72377 mm².



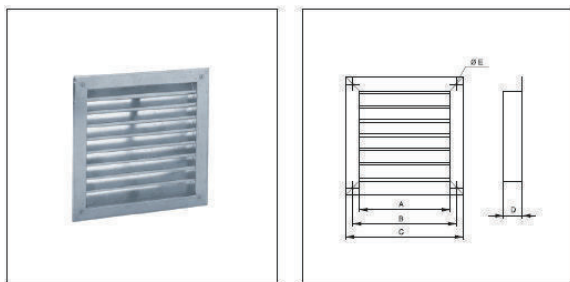
Průtok: 607 m³/h
Tlaková ztráta: 3 Pa

Návrh protidešťové žaluzie

Navržená protidešťová žaluzie TROX, typ TRG.

Materiál:

pozinkovaný plech.



Tlaková ztráta protidešťové žaluzie:

25 Pa

Návrh tepelné izolace

Navržena tepelná izolace z minerální vlny - Rockwool Larock ASL 40, tl. 20 mm.

Výpočtový stav okolního vzduchu		
Tlak: ?	98.9	kPa ▼
Nadmořská výška: ?	320	m ▼
Teplota: ?	21	°C ▼
Relativní vlhkost: ?	65	% ▼
Měrná vlhkost: ?	10.34	g/kg ▼
Typ okolního prostředí: ?	Vnitřní klidné ▼	
Parametry potrubí a izolace		
Tvaru potrubí: ?	<input type="radio"/> Kruh <input checked="" type="radio"/> Obdelník	
Rozměr potrubí A (Ø D): ?	800	mm ▼
Rozměr potrubí B: ?	500	
Délka potrubí: ?	6.7	m ▼
Objemový průtok: ?	7020	m ³ /h ▼
Průměrná rychlost: ?	4.875	m/s ▼
Vstupní teplota v potrubí: ?	21.5	°C ▼
Relativní vlhkost v potrubí: ?	65	% ▼
Měrná vlhkost: ?	10.67	g/kg ▼
Typ tepelné izolace: ?	Zadat vlastnosti ▼	
Součinitel tepelné vodivosti: ?	0.043	W/mK ▼
Tloušťka izolace: ?	20	mm ▼

Výsledky výpočtu		
	VYPOČÍTAT	VYMAZAT
Výstupní teplota: ?	21.49	°C ▼
Rosný bod: ?	14.65	°C ▼
Povrchová teplota i1: ?	21.45	°C ▼
Povrchová teplota i2: ?	21.44	°C ▼
Povrchová teplota e1: ?	21.13	°C ▼
Povrchová teplota e2: ?	21.13	°C ▼
Minimální tloušťka izolace: ?	0	mm ▼
Tepelná ztráta: ?	12.5	W ▼
Informace o průběhu výpočtu: Proběhl výpočet dle zadaných parametrů.		

Útlum hluku

Posudek je vztažen k distribučnímu prvku, který je nejbližší VZT jednotce.

Přívodní potrubí

P	L _{WA} [dB(A)]/ f [Hz]	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač (výstup) L _{vent}	61,6	55,4	48,5	48,2	54,1	52,8	70,0
2	Přirozený útlum:							
3	Rovné potrubí (2,7+2,9 m)	1,68	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	
4	Oblouky (2 ks)	2,00	4,00	6,00	6,00	6,00	6,00	
5	Odbočka k vyústce D ₁	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	
6	Ohebné potrubí (0,5 m)	9,50	8,00	6,25	4,50	5,75	3,50	
7	Útlum koncovým odrazem D ₂	1,11	0,33	0,09	0,03	0,01	0,00	
8	Hluk ve vyústce L _w	37,69	32,61	25,70	27,22	31,89	32,84	40,82
9	Vlastní hluk vyústky L ₁							35
10	Hluk vystupující z vyústky L _s							41,83
11	Korekce na počet vyústek							3,0103
12	Hluk vystupující z vyústky L _s							44,8

$$D_1 = 10 \cdot \log \frac{\sum S_{odb}}{S_{odb1}} = 10 \cdot \log \frac{0,8 \cdot 0,5 + 0,125^2 \cdot \pi}{0,125^2 \cdot \pi} = 9,6 \text{ dB}$$

$$D_2 = 10 \cdot \log(1 + [c/(\pi \cdot f \cdot d)]^{1,88})$$

$$d = \sqrt[3]{4A/\pi} = 0,843 \text{ m}$$

Útlum hluku v místnosti

$$S = 98,83 \text{ m}^2$$

$$A = \alpha \cdot S = 14,825 \text{ m}^2$$

$$L_p = L_{w,s} + 10 \cdot \log((Q/(4 \cdot \pi \cdot r^2)) + (4/A)) = 40 \text{ dB}$$

Odvodní potrubí

P	L_{wA} [dB(A)]/ f [Hz]	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - sání (vstup) L_{vent}	55,2	42,6	28,2	28,8	33,3	31,2	60,9
2	Přirozený útlum:							
3	Rovné potrubí (3,3 m)	1,68	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	
4	Oblouky (4 ks)	2,00	4,00	6,00	6,00	6,00	6,00	
5	Odbočka z hlavní větve D_1	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	
6	Rovné potrubí (2,2 m)	0,66	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	
7	Útlum koncovým odrazem D_2	2,16	0,70	0,20	0,06	0,02	0,00	
8	Hluk ve výústce L_w	45,16	33,19	17,29	18,03	22,57	20,48	45,47
9	Vlastní hluk výústky L_1							29
10	Hluk vystupující z výústky L_s							45,57
11	Korekce na počet výústek							3,01
12	Hluk vystupující z výústky L_s							48,6

$$D_1 = 10 \cdot \log(\sum S_{odb}) / S_{odb1} = 3,54 \text{ dB}$$

$$D_2 = 10 \cdot \log(1 + (c / (\pi \cdot f \cdot d))^{1,88})$$

$$d = \sqrt{4A / \pi} = 0,553 \text{ m}$$

Útlum hluku v místnosti

$$S = 206,72 \text{ m}^2$$

$$A = \alpha \cdot S = 31,008 \text{ m}^2$$

$$L_p = L_{w,s} + 10 \cdot \log((Q / (4 \cdot \pi \cdot r^2)) + (4 / A)) = 35,13 \text{ dB}$$

Součtová hladina akustického tlaku

$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{s1}} + 10^{0,1 \cdot L_{s2}}) = 45,0 \text{ dB}$
--

Maximální přípustná hodnota hluku v místnosti je 50 dB (hygienický limit), není nutné navrhnout další tlumič hluku (obsaženy v návrhu VZT jednotky).

Návrh jednotky

REMAK a.s.
Roznov pod Radhostem
Czech Republic
<http://www.remak.cz>



Číslo projektu 01

Název projektu VZT jednotka

Diplomová práce

	Zákazník	Projektant
Firma		VUT v Brně, Fakulta stavební
Ulice, Město, PSČ, Stát	, , , Česká republika	
Telefon, Telefax		
Kontakt, E-mail		Bc. Jan Adamec,

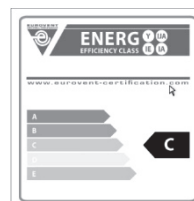
Číslo zařízení 01 Název zařízení VZT jednotka

Druh, rozměr AeroMaster XP 17
Model box AMXP3
Hmotnost zařízení 3 447 kg

Popis zařízení * SESTAVNÁ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKA

- standardně dodávány varianty pro vnitřní i venkovní instalace pro prostředí C2 nebo C3 dle (ČSN) EN ISO 14713-1
- schváleno k použití v hygienických a čistých aplikacích (SZÚ - 111130, S 294/01)
- standardní rozsah pracovních teplot je -40°C až +40°C
- samonosná bezrámová konstrukce se zcela hladkým vnitřním pláštěm
- sendvičové panely s 50 mm nehořlavou izolací
- parametry dle EN 1886:2008 (M): D2, L2 resp. L1, T3, TB3
- zvuková neprůzvučnost pláště $R_w=43$ dB
- ES prohlášení shody vydáno ve spolupráci s TUV SÜD Czech
- certifikát shody dle GOST R
- vyvinuto a vyráběno v souladu s certifikovaným systémem řízení jakosti ISO 9001:2001

* Detailní informace ke specifikacím a užití zařízení a příslušenství
viz: Souhrnný technický dokument



Klimatické a vstupní podmínky (zima/léto)

Teplota vzduchu (venkovní) [°C]	-15 / 29	Teplota z místnosti [°C]	21 / 22
Relativní vlhkost (venkovní) [%]	95 / 37	Relativní vlhkost z místnosti [%]	45 / 45
Tlak vzduchu [kPa]	98 / 98		

Vzduchové parametry zařízení (přívod/odvod)

Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	7020 / 6900	Tlaková ztráta komponentů v sestavě [Pa]	400 / 190
Rychlost v průřezu [m/s]	1.68 / 1.65	Výstupní teplota z přívodu (zima/léto) [°C]	21 / 21
Skutečná externí tlaková ztráta (rezerva) [Pa]	257 / 128	Výstupní relativní vlhkost z přívodu (zima/léto) [%]	45 / 40
Rozdíl (k zaregulování) [Pa]	+35 / +29		

Výkonové parametry zařízení (přívod/odvod)*

Dimenzováno na výkonový stupeň ventilátorů	3 / 3	Součtové výkony pro ohřev [kW]	69 / 0
Součtové výkony ventilátorů [kW]	2.61 / 1.57	Součtové výkony pro chlazení [kW]	55 / 0
Specifický výkon zařízení $SFP_{E, [W, m^{-3} \cdot s]}$	2143	Výkon zpětného získání tepla [kW]	50

*Návrh s vlivem kondenzace

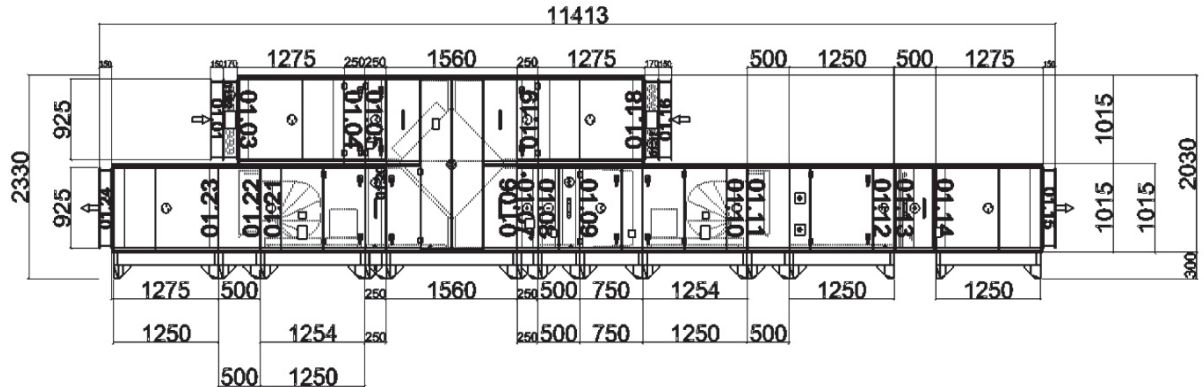
Hlukové parametry zařízení

Přívod		Hladiny akustického výkonu v oktavových pásmech $L_{w, Okt}$ [dB(A)] a celková hladina L_{wA} [dB(A)]							
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	L_{wA}
Vstup	54.7	59.0	50.8	41.9	24.2	21.4	26.9	23.5	60.9
Výstup	64.7	66.7	61.6	55.4	48.5	48.2	54.1	52.8	70.0
Okolí	54.7	53.9	55.7	53.9	50.5	47.2	44.6	32.3	61.3

Odvod		Hladiny akustického výkonu v oktavových pásmech $L_{w, Okt}$ [dB(A)] a celková hladina L_{wA} [dB(A)]							
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	L_{wA}
Vstup	50.7	58.8	55.2	42.6	28.2	28.8	33.3	31.2	60.9
Výstup	54.7	63.8	62.7	53.7	46.5	46.4	51.9	51.1	67.1
Okolí	48.7	51.7	57.1	50.6	47.5	45.6	40.0	28.0	59.8

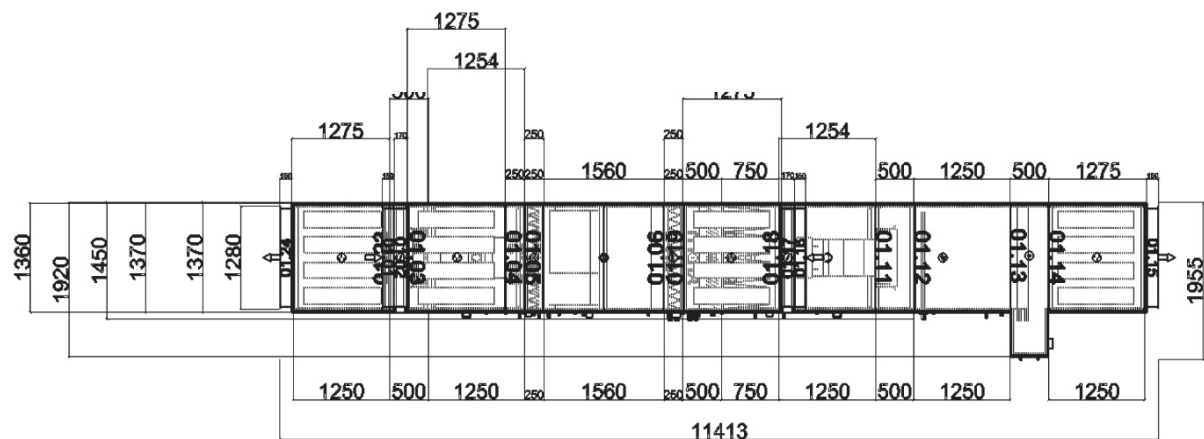
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zepředu XZ
01 - VZT jednotka
X = 11412 mm, Y = 2330 mm



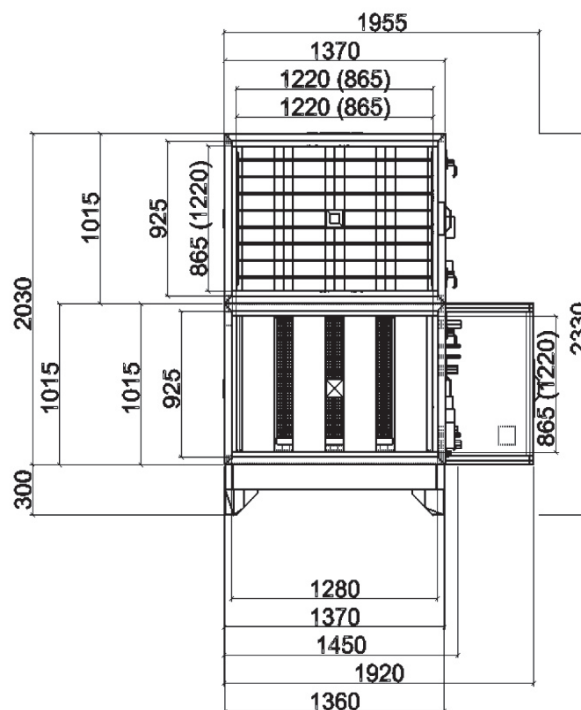
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Shora XY
01 - VZT jednotka
X = 11412 mm, Y = 1954 mm



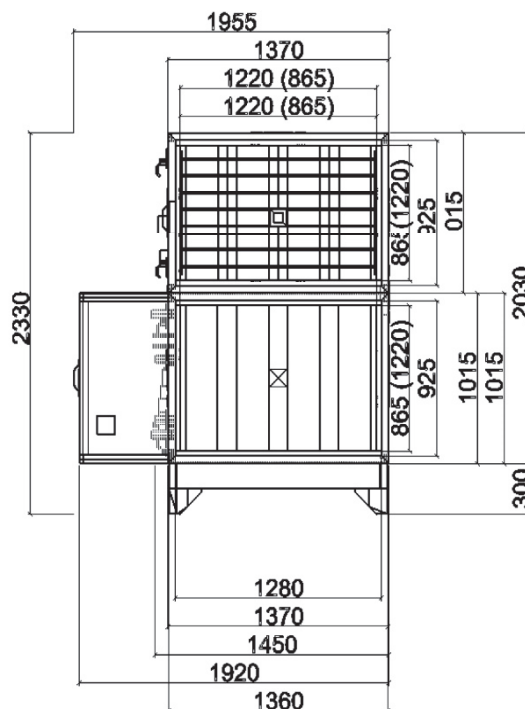
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zleva YZ
01 - VZT jednotka
X = 1954 mm, Y = 2330 mm



Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zprava YZ
01 - VZT jednotka
X = 1954 mm, Y = 2330 mm



- Kapilárový termostat CAP 2M_XP
- Souprava pro odvod kondenzátu XPOO 301

01.09 Sekce filtru XPHO 17/D

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Filtrační vložka XPNH 17/5			
Tlaková ztráta pro výpočet	Při středním zanesení	Třída filtrace	M5
Počáteční tlaková ztráta [Pa]	28		
• Filtrační vložka náhradní XPNS 17/7			
• Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa)			

01.10 Sekce ventilátoru XPAA 17/P-S

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Panel čelní - výtlač XPM 17/A			
• Ventilátor XPVR 355-150/150-7,5-J2 (IE2)			
Statický tlak [Pa]	657	Účinnost [%]	74
Celkový tlak [Pa]	711	Elektrický příkon [kW]	2.61
• Regulator výkonu XPFM 7.5 (IP21)			
• Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa)			

01.11 Sekce difuzoru XPJD 17

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Difuzor XPNA 17			

01.12 Sekce zvlhčování XPJZ 17

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Komplet zvlhčovacího zařízení CA-UE 65/125C			
Dimenzovat na podmínky	Zima	Výstupní parametry vzduchu	Zima Léto
Relativní vlhkost vzduchu za zvlhčovačem (požadovaná) [%]	45	Teplota [°C]	21.0 9.2
Vstupní parametry vzduchu	Zima Léto	Relativní vlhkost [%]	45 85
Teplota [°C]	21.0 9.2	Měrná vlhkost [g/kg]	7.16 6.34
Relativní vlhkost [%]	6 85	Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.159 1.208
Měrná vlhkost [g/kg]	1.00 6.34	Entalpie [kJ/kg]	39.39 25.24
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.163 1.208	Skutečný průtok [m³/h]	7020 7020
Entalpie [kJ/kg]	23.74 25.24	Hmotnostní průtok [kg/h]	8078 7833
Skutečný průtok [m³/h]	7020 7020	Parní výkon (požadovaný) [kg/h]	50.3
Hmotnostní průtok [kg/h]	9294 7833		
• Sada náhradních varných válců CA-UN 65			
• Souprava pro odvod kondenzátu XPOO 301			
• Základní hygrostat DPWC			
• Omezovací hygrostat DPDC			

01.13 Sekce ohříváče XPTP 17/S

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Vodní ohříváč XPNC 17/FR			
Dimenzovat na podmínky	Léto	Výstupní parametry vzduchu	Zima Léto
Teplonosné médium	Voda	Teplota [°C]	21.0 21.0
Vstupní teplota média [°C]	90	Relativní vlhkost [%]	45 40
Výstupní teplota média (zadaná) [°C]	70	Měrná vlhkost [g/kg]	7.16 6.36
Teplota vzduchu za ohříváčem (požadovaná) [°C]	21.0	Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.159 1.159
Vstupní parametry vzduchu	Zima Léto	Entalpie [kJ/kg]	39.39 37.36
Teplota [°C]	21.0 9.2	Skutečný průtok [m³/h]	7020 7020
Relativní vlhkost [%]	45 85	Hmotnostní průtok [kg/h]	8078 7833
Měrná vlhkost [g/kg]	7.16 6.34	Teplota vzduchu za ohříváčem (skutečná) [°C]	21.0
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.159 1.208	Výstupní teplota média (skutečná) [°C]	60
Entalpie [kJ/kg]	39.39 25.24	Topný výkon (skutečný) [kW]	28.1
Skutečný průtok [m³/h]	7020 7020	Tlaková ztráta média [kPa]	0.4
Hmotnostní průtok [kg/h]	8078 7833		
• Směšovací uzel SUMX 1,6 (3)			
• Protimrazové čidlo NS 130 R			

01.14 Sekce tlumiče hluku XPPO 17/S

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Panel čelní - výstup XPK 17/P			
• Montážní sada panelu XPK 17/P (MSP)			

01.15 Tlumič vložka DV 1220-865

01.16 Tlumič vložka DV 1220-865

01.17 Klapka uzavírací LK 1220-865

- Servopohon SM 230A

01.18 Sekce tlumiče hluku		XPPO 17/S	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<div>• Panel čelní - vstup XPK 17/P</div> <div>• Montážní sada panelu XPK 17/P (MSP)</div>			
01.19 Sekce filtru		XPHO 17/K	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<div>• Filtrační vložka XPNV 17/3</div>			
Tlaková ztráta pro výpočet	Při středním zanesení	Třída filtrace	G3
Počáteční tlaková ztráta [Pa]	29		
01.20 Sekce eliminátoru		XPUO 17	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<div>• Eliminátor kapek XPNV 17</div> <div>• Souprava pro odvod kondenzátu XPOO 301</div>			
01.21 Sekce ventilátoru		XPAA 17/P-S	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<div>• Panel čelní - výtlak XPM 17/A</div> <div>• Ventilátor XPVR 355-150/125-4,0-J2 (IE2)</div>			
Statický tlak [Pa]	318	Účinnost [%]	64
Celkový tlak [Pa]	371	Elektrický příkon [kW]	1.57
<div>• Regulátor výkonu XPFM 4.0 (IP21)</div> <div>• Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa)</div>			
01.22 Sekce difuzoru		XPJD 17	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<div>• Difuzor XRNA 17</div>			
01.23 Sekce tlumiče hluku		XPPO 17/S	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<div>• Panel čelní - výstup XPK 17/P</div> <div>• Montážní sada panelu XPK 17/P (MSP)</div>			
01.24 Tlumičí vložka		DV 1220-865	

Doplňky		Počet	Kód
01.XX	Spojovací sada	12 ks	XPSSS17MR
01.XX	Spojovací sada	1 ks	XPSSS17VR
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1715603P
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503P
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1702503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1707503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1705003S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1705003S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1702503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1705003S
	pro sekci		
01.25	Řídící jednotka	1 ks	VWBC01G1D00FB0090S000BC05210
	Čidlo teploty venkovního vzduchu	1 ks	31E55010102
	Čidlo teploty a vlhkosti v přívodu	1 ks	31E02010247
	Čidlo prostorové teploty a vlhkosti	1 ks	31E02010247

Výrobní (přepravní) bloky sekcí			
	Blok sekcí	258.6 kg	
	pro sekci	01.19	XPHO 17/K
	pro sekci	01.18	XPPO 17/S

2. VARIANTA

Stručný popis:

V druhé variantě je navržen vzduchotechnický systém s naopak vodním chladičem. Tato verze je vyhotovena tak, aby v daném čistém prostoru bylo dosaženo laminárního (jednosměrného) proudění.

Dimenzování přívodního potrubí													
Úsek	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Návrhová rychlost vzduchu	Průčná plocha potrubí	Minimální průměr průtočné plochy	Rozměr potrubí		Návrhový průměr průtočné plochy	Rychlost vzduchu	Měrná tlaková ztráta - potrubí	Součet součinitelů vřazených odporů tvarovek	Tlaková ztráta místními odpory	Celková tlaková ztráta úseku
u	V [m ³ /h]	L [m]	v' [m/s]	S [m ²]	d' [m]	ξ [m]	v [m]	d [m]	v [m/s]	R [Pa/m]	ξ [-]	Z [Pa]	Z+R·L [Pa]
1	524,0	0,50	3	0,0485	0,2485	0,280	0,280	0,316	1,857	0,26	1,3	2,69	2,820
2	1048,0	1,50	3,2	0,0910	0,3403	0,280	0,400	0,378	2,599	0,26	0,45	1,82	2,215
3	1572,0	1,00	3,4	0,1284	0,4044	0,315	0,400	0,401	3,466	0,32	0,45	3,24	3,564
4	2096,0	1,25	3,6	0,1617	0,4538	0,400	0,400	0,451	3,639	0,31	0,45	3,58	3,964
5	2620,0	1,00	3,8	0,1915	0,4938	0,500	0,400	0,505	3,639	0,26	0,22	1,75	2,009
6	3144,0	1,00	4	0,2183	0,5272	0,500	0,450	0,535	3,881	0,37	0,45	4,07	4,440
7	3668,0	1,00	4,2	0,2426	0,5558	0,500	0,500	0,564	4,076	0,31	0,45	4,49	4,797
8	4192,0	1,25	4,4	0,2646	0,5805	0,560	0,500	0,597	4,159	0,33	0,45	4,67	5,084
9	4500,0	5,50	4,6	0,2717	0,5882	0,630	0,500	0,633	3,968	0,33	0,45	4,25	6,069
10	6140,0	2,25	4,75	0,3591	0,6761	0,800	0,500	0,714	4,264	0,31	1,5	16,37	17,068
11	7040,0	6,70	4,85	0,4032	0,7165	0,800	0,500	0,714	4,889	0,26	5,1	73,17	74,916
Pozn.:													
Tlaková ztráta posledního distribučního prvku - je přibližně 200 Pa.													
Tlaková ztráta při pojení posledního distribučního prvku - flexibilní hadice - Ø254 mm - 1 Pa.													

Dimenzování odvodního potrubí													
Úsek	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Návrhová rychlost vzduchu	Průčná plocha potrubí	Minimální průměr průtočné plochy	Rozměr potrubí		Návrhový průměr průtočné plochy	Rychlost vzduchu	Měrná tlaková ztráta - potrubí	Součet součinitelů vřazených odporů tvarovek	Tlaková ztráta místními odpory	Celková tlaková ztráta úseku
u	V [m ³ /h]	L [m]	v' [m/s]	S [m ²]	d' [m]	ξ [m]	v [m]	d [m]	v [m/s]	R [Pa/m]	ξ [-]	Z [Pa]	Z+R·L [Pa]
1	327,5	1,50	3	0,0303	0,1965	0,400	0,200	0,319	1,137	0,07	0,45	0,35	0,454
2	655,0	3,50	3,2	0,0569	0,2691	0,400	0,200	0,319	2,274	0,20	1,75	5,43	6,134
3	982,5	1,35	3,4	0,0803	0,3197	0,400	0,250	0,357	2,729	0,21	0,45	2,01	2,296
4	1310,0	1,35	3,6	0,1011	0,3587	0,400	0,280	0,378	3,249	0,31	0,45	2,85	3,270
5	1637,5	1,35	3,8	0,1197	0,3904	0,400	0,315	0,401	3,610	0,31	0,45	3,52	3,939
6	1965,0	1,35	4	0,1365	0,4168	0,400	0,355	0,425	3,844	0,32	0,45	3,99	4,423
7	2292,5	1,35	4,2	0,1516	0,4394	0,400	0,400	0,451	3,980	0,45	0,22	2,09	2,700
8	2620,0	1,35	4,3	0,1693	0,4642	0,400	0,450	0,479	4,043	0,42	0,45	4,42	4,983
9	2947,5	3,50	4,4	0,1861	0,4867	0,400	0,500	0,505	4,094	0,41	1,75	17,61	19,041
10	3275,0	1,50	4,5	0,2022	0,5073	0,400	0,560	0,534	4,061	0,40	0,45	4,46	5,056
11	3602,5	1,90	4,6	0,2175	0,5263	0,400	0,630	0,566	3,971	0,38	0,45	4,26	4,982
12	6920,0	6,90	4,6	0,4179	0,7294	0,630	0,710	0,755	4,297	0,26	5,02	55,65	57,446
Pozn.:													
Tlaková ztráta posledního odvodního prvku je přibližně 9 Pa.													
Celkem: 123,723													

Návrh ohebného připojovacího potrubí

SONOFLEX MO 254 - Al laminátová hadice, tepelná a hluková izolace 25 mm + parozábrana.

Vnitřní uspořádání jako ALUFLEX MO (info výrobce - Electrodesign).

Tlak. ztráta (přibližná - orientační - pro nataženou hadici)

Přívod (500 m³/h) Ø254 mm 1 Pa/m

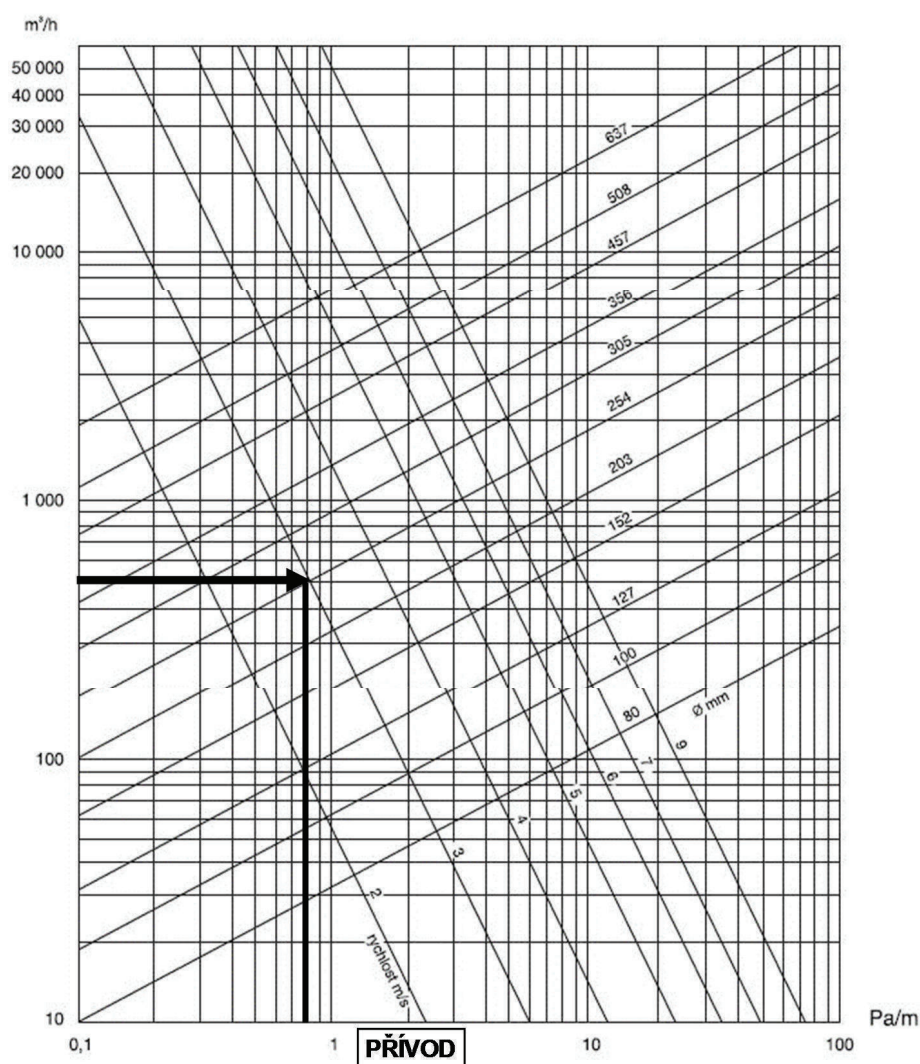
Posuzováno na nejvzdálenější prvek od VZT jednotky. Délka potrubí cca 0,7 m -celková ztráta 1 Pa.

Vložený útlum v dB. vztaženo na 1 m hadice typ SONOFLEX, síla izolace 25 mm

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
8,5	15	19	16	12,5	9	11,5	7

Tlakové ztráty hadic ALUFLEX

tlakové ztráty jsou vztaženy na 1 m hadice, hodnoty jsou orientační



Návrh distribučního prvku

Distribuční prvek - Přívod vzduchu

Navržena kompaktní filtrační kazeta s individuálním napájením - Astrocel TM Hood.

Obsahuje HEPA filtr (H14). Instalace kazety se provádí na běžnou konstrukci rámu podhledu.



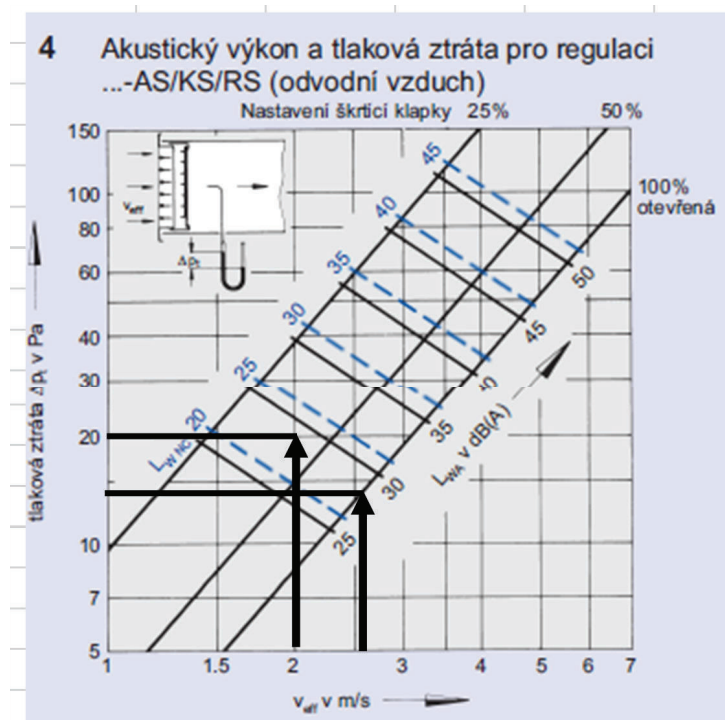
Průtok: 500 m³/h
Tlaková ztráta: 200 Pa

Prvek pro odvod vzduchu

Navržena vzduchotechnická mřížka TROX - TRS-K (instalace mřížky do čtyřhranného potrubí).

Velikost 825x125 mm, průtok vzduchu: 370 m³/h (při w=2,33 m/s).

Efektivní plocha: 44000 mm².



Charakteristiky výústek

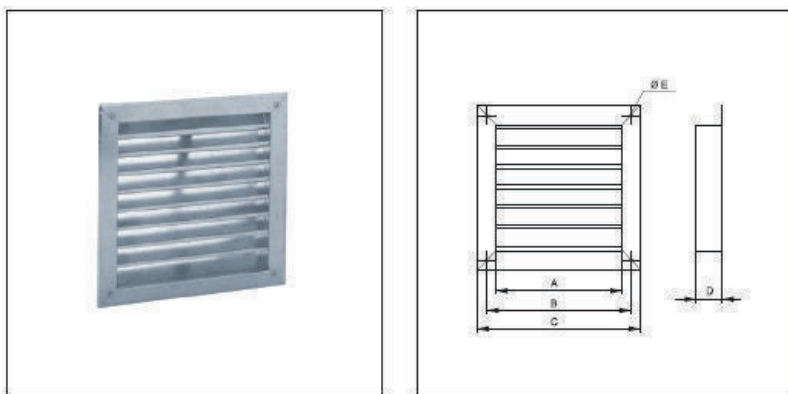
Průtok:	420	m ³ /h
Tlaková ztráta:	13	Pa
Efektivní plocha:	0,044	m ²
Rychlost vzduchu:	2,65	m/s

Průtok:	327,5	m ³ /h
Tlaková ztráta:	20	Pa
Efektivní plocha:	0,044	m ²
Rychlost vzduchu:	2,07	m/s
Hladina ak. tlaku:	29	dB

Návrh protidešťové žaluzie

Navržena protidešťová žaluzie TROX, typ TRG.

Materiál: pozinkovaný plech.



Tlaková ztráta protidešťové žaluzie: 25 Pa

Návrh tepelné izolace

Navržena tepelná izolace z minerální vlny - Rockwool Larock ASL 40, tl. 20 mm.

Výpočtový stav okolního vzduchu		
Tlak: ?	98.9	kPa ▼
Nadmořská výška: ?	320	m ▼
Teplota: ?	21	°C ▼
Relativní vlhkost: ?	65	% ▼
Měrná vlhkost: ?	10.34	g/kg ▼
Typ okolního prostředí: ?	Vnitřní klidné ▼	
Parametry potrubí a izolace		
Tvaru potrubí: ?	<input type="radio"/> Kruh <input checked="" type="radio"/> Obdelník	
Rozměr potrubí A (Ø D): ?	800	mm ▼
Rozměr potrubí B: ?	500	
Délka potrubí: ?	6.7	m ▼
Objemový průtok: ?	7020	m ³ /h ▼
Průměrná rychlost: ?	4.875	m/s ▼
Vstupní teplota v potrubí: ?	21.5	°C ▼
Relativní vlhkost v potrubí: ?	65	% ▼
Měrná vlhkost: ?	10.67	g/kg ▼
Typ tepelné izolace: ?	Zadat vlastnosti ▼	
Součinitel tepelné vodivosti: ?	0.043	W/mK ▼
Tloušťka izolace: ?	20	mm ▼

Výsledky výpočtu		
	VYPOČÍTAT	VYMAZAT
Výstupní teplota: ?	21.49	°C ▼
Rosný bod: ?	14.65	°C ▼
Povrchová teplota i1: ?	21.45	°C ▼
Povrchová teplota i2: ?	21.44	°C ▼
Povrchová teplota e1: ?	21.13	°C ▼
Povrchová teplota e2: ?	21.13	°C ▼
Minimální tloušťka izolace: ?	0	mm ▼
Tepelná ztráta: ?	12.5	W ▼
Informace o průběhu výpočtu: Proběhl výpočet dle zadaných parametrů.		

Útlum hluku

Posudek je vztažen k distribučnímu prvku, který je nejbližší VZT jednotce.

Přívodní potrubí

P	L_{wA} [dB(A)]/ f [Hz]	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač (výstup) L_{vent}	64,6	57,1	49,2	49,3	55,9	54,9	73,7
2	Přirozený útlum:							
3	Rovné potrubí (2,7+2,9 m)	1,68	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	
4	Oblouky (2 ks)	2,00	4,00	6,00	6,00	6,00	6,00	
5	Odbočka k vyústce D_1	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	
6	Ohebné potrubí (0,5 m)	9,50	8,00	6,25	4,50	5,75	3,50	
7	Útlum koncovým odrazem D_2	1,11	0,33	0,09	0,03	0,01	0,00	
8	Hluk ve vyústce L_w	40,69	34,31	26,40	28,32	33,69	34,94	43,22
9	Vlastní hluk vyústky L_1							35
10	Hluk vystupující z vyústky L_s							43,83
11	Korekce na počet vyústek							3,0103
12	Hluk vystupující z vyústky L_s							46,8

$$D_1 = 10 \cdot \log \frac{\sum S_{odb}}{S_{odb1}} = 10 \cdot \log \frac{0,8 \cdot 0,5 + 0,125^2 \cdot \pi}{0,125^2 \cdot \pi} = 9,6 \text{ dB}$$

$$D_2 = 10 \cdot \log(1 + [c/(\pi \cdot f \cdot d)]^{1,88})$$

$$d = \sqrt{4A/\pi} = 0,843 \text{ m}$$

Útlum hluku v místnosti

$$S = 98,83 \text{ m}^2$$

$$A = \alpha \cdot S = 14,825 \text{ m}^2$$

$$L_p = L_{w,s} + 10 \cdot \log((Q/(4 \cdot \pi \cdot r^2)) + (4/A)) = 42 \text{ dB}$$

Odvodní potrubí

P	L_{wA} [dB(A)]/ f [Hz]	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - sání (vstup) L_{vent}	55,2	42,6	28,2	28,8	33,3	31,2	60,9
2	Přirozený útlum:							
3	Rovné potrubí (3,3 m)	1,68	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	
4	Oblouky (4 ks)	2,00	4,00	6,00	6,00	6,00	6,00	
5	Odbočka z hlavní větve D_1	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	
6	Rovné potrubí (2,2 m)	0,66	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	
7	Útlum koncovým odrazem D_2	3,86	1,43	0,44	0,12	0,03	0,01	
8	Hluk ve výústce L_w	43,46	32,46	17,05	17,97	22,56	20,48	43,87
9	Vlastní hluk výústky L_1							29
10	Hluk vystupující z výústky L_s							44,01
11	Korekce na počet výústek							3,01
12	Hluk vystupující z výústky L_s							47,0

$$D_1 = 10 \cdot \log(\sum S_{odb}) / S_{odb1} = 3,54 \text{ dB}$$

$$D_2 = 10 \cdot \log(1 + (c / (\pi \cdot f \cdot d))^{1,88})$$

$$d = \sqrt[4]{4A / \pi} = 0,362 \text{ m}$$

Útlum hluku v místnosti

$$S = 206,72 \text{ m}^2$$

$$A = \alpha \cdot S = 31,008 \text{ m}^2$$

$$L_p = L_{w,s} + 10 \cdot \log((Q / (4 \cdot \pi \cdot r^2)) + (4 / A)) = 35,13 \text{ dB}$$

Součtová hladina akustického tlaku

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{s1}} + 10^{0,1 \cdot L_{s2}}) = 46,9 \text{ dB}$$

Maximální přípustná hodnota hluku v místnosti je 50 dB (hygienický limit), není nutné navrhnout další tlumič hluku (obsaženy v návrhu VZT jednotky).

Návrh jednotky

REMAK a.s.
Roznov pod Radhostem
Czech Republic
<http://www.remak.cz>



Číslo projektu 01

Název projektu VZT jednotka

Diplomová práce

Firma	Zákazník	Projektant
Ulice, Město, PSČ, Stát	Česká republika	VUT v Brně, Fakulta stavební
Telefon, Telefax		
Kontakt, E-mail		Bc. Jan Adamec,

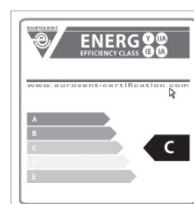
Číslo zařízení 01 Název zařízení VZT jednotka

Druh, rozměr AeroMaster XP 17
Model box AMXP3
Hmotnost zařízení 3 393 kg

Popis zařízení * SESTAVNÁ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKA

- standardně dodávány varianty pro vnitřní i venkovní instalace pro prostředí C2 nebo C3 dle (ČSN) EN ISO 14713-1
- schváleno k použití v hygienických a čistých aplikacích (SZÚ - 111130, S 294/01)
- standardní rozsah pracovních teplot je -40°C až +40°C
- samonosná bezrámová konstrukce se zcela hladkým vnitřním pláštěm
- sendvičové panely s 50 mm nehořlavou izolací
- parametry dle EN 1886:2008 (M): D2, L2 resp. L1, T3, TB3
- zvuková neprůzvučnost pláště $R_w=43$ dB
- ES prohlášení shody vydáno ve spolupráci s TUV SÜD Czech
- certifikát shody dle GOST R
- vyvinuto a vyráběno v souladu s certifikovaným systémem řízení jakosti ISO 9001:2001

* Detailní informace ke specifikacím a užití zařízení a příslušenství viz. Součástí stavebního technického dokumentace



Klimatické a vstupní podmínky (zima/léto)

Teplota vzduchu (venkovní) [°C]	-15 / 29	Teplota z místnosti [°C]	22 / 22
Relativní vlhkost (venkovní) [%]	95 / 37	Relativní vlhkost z místnosti [%]	45 / 45
Tlak vzduchu [kPa]	98 / 98		

Vzduchové parametry zařízení (přívod/odvod)

Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	7040 / 6920	Tlaková ztráta komponentů v sestavě [Pa]	390 / 191
Rychlost v průřezu [m/s]	1.69 / 1.66	Výstupní teplota z přívodu (zima/léto) [°C]	21 / 21
Skutečná externí tlaková ztráta (rezerva) [Pa]	579 / 125	Výstupní relativní vlhkost z přívodu (zima/léto) [%]	45 / 59
Rozdíl (k zaregulování) [Pa]	+251 / 1		

Výkonové parametry zařízení (přívod/odvod)*

Dimenzováno na výkonový stupeň ventilátorů	3 / 3	Součtové výkony pro ohřev [kW]	48 / 0
Součtové výkony ventilátorů [kW]	3.56 / 1.57	Součtové výkony pro chlazení [kW]	20 / 0
Specifický výkon zařízení $SFP_{E, IW, m^{-3}, s}$	2624	Výkon zpětného získání tepla [kW]	51

*Návrh s vlivem kondenzace

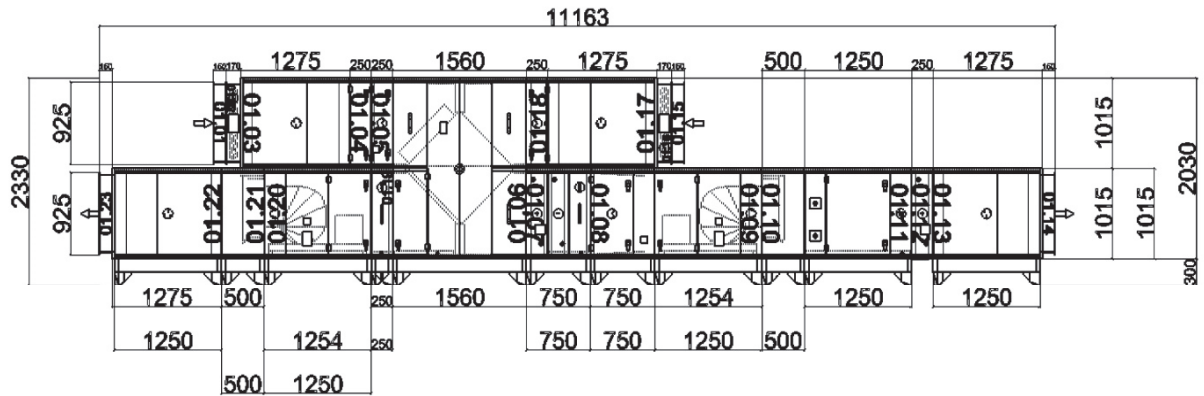
Hlukové parametry zařízení

Přívod	Hladiny akustického výkonu v oktávových pásmech $L_{w,akt}$ [dB(A)] a celková hladina L_{wA} [dB(A)]								
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	L_{wA}
Vstup	55.5	62.9	54.0	44.5	27.0	22.3	29.2	26.9	64.1
Výstup	68.5	70.7	64.6	57.1	49.2	49.3	55.9	54.9	73.7
Okolí	55.5	57.8	57.9	56.5	52.3	48.1	46.9	34.7	63.7

Odvod	Hladiny akustického výkonu v oktávových pásmech $L_{w,akt}$ [dB(A)] a celková hladina L_{wA} [dB(A)]								
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	L_{wA}
Vstup	50.7	58.8	55.2	42.6	28.2	28.9	33.4	31.3	60.9
Výstup	54.7	63.8	62.7	53.7	46.5	46.4	51.9	51.2	67.1
Okolí	48.7	51.7	57.1	50.6	47.5	45.7	40.1	28.1	59.8

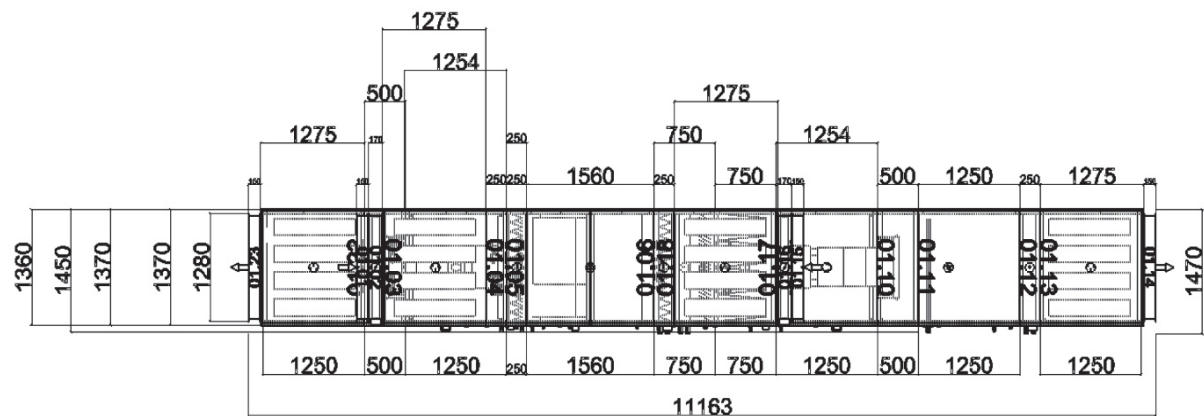
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zepředu XZ
01 - VZT jednotka
X = 11162 mm, Y = 2330 mm



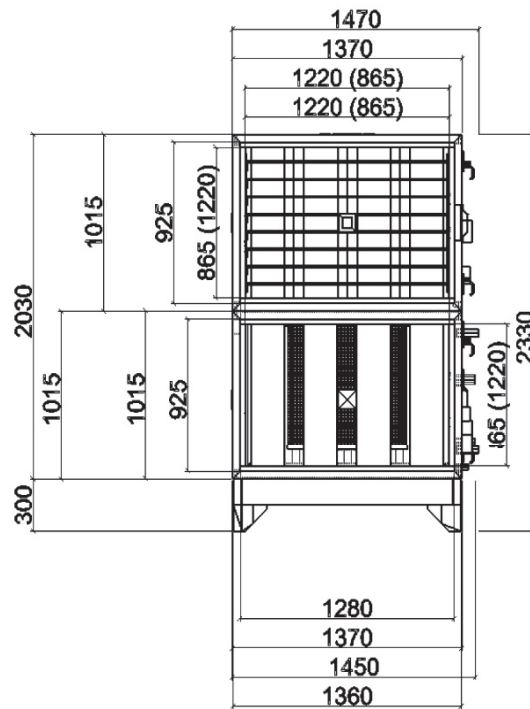
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Shora XY
01 - VZT jednotka
X = 11162 mm, Y = 1470 mm



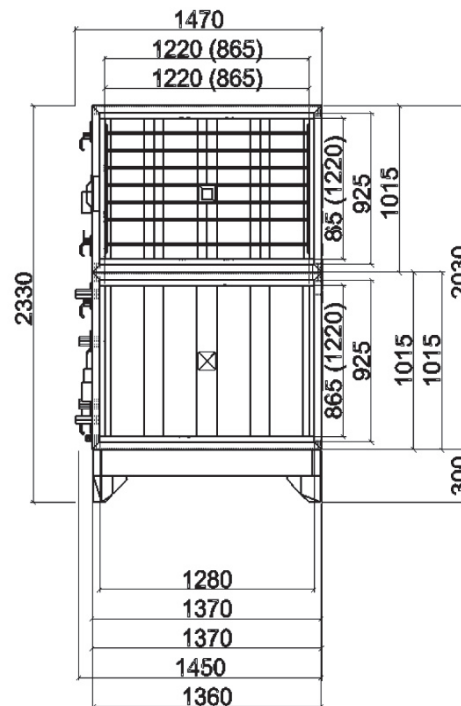
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zleva YZ
01 - VZT jednotka
X = 1470 mm, Y = 2330 mm



Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zprava YZ
01 - VZT jednotka
X = 1470 mm, Y = 2330 mm

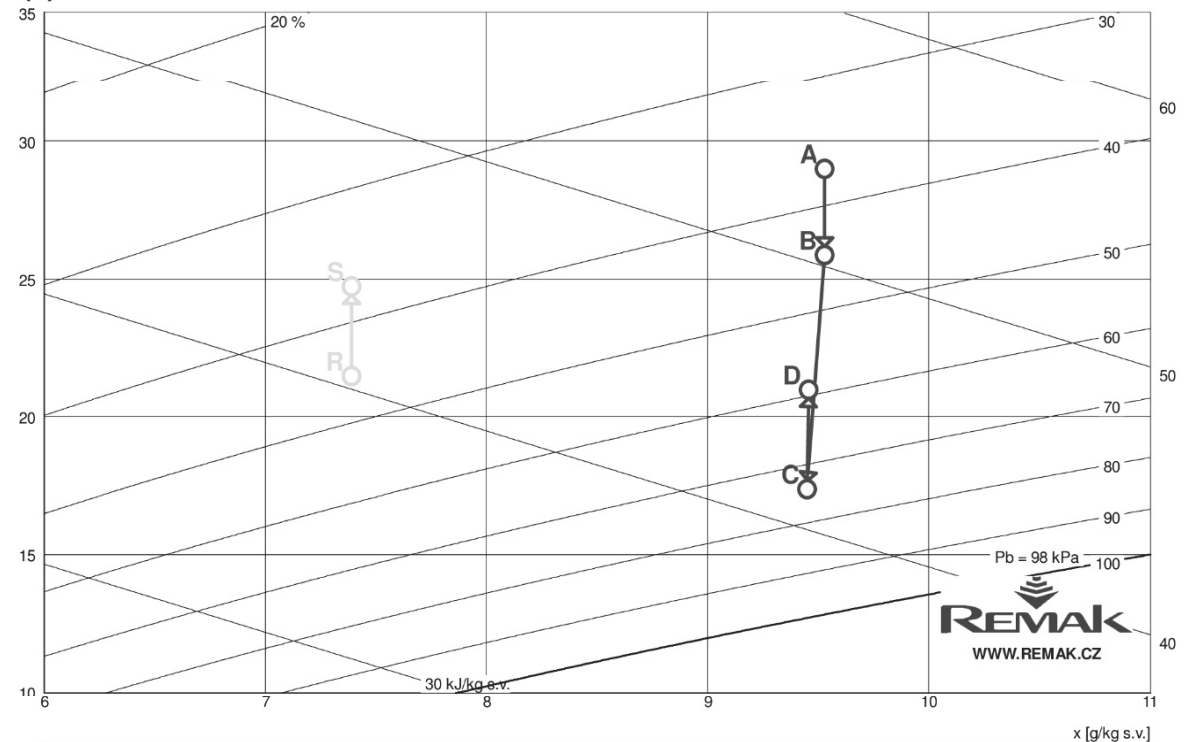


Bod	Pozice	Teplota vzduchu t [°C]	Relativní vlhkost φ [%]	Měrná vlhkost x [g/kg]	Entalpie h [kJ/kg]	Hustota ρ [kg/m³]
A	01.06	-15.0	95.0	1.0	-12.7	1.33
B		4.6	18.4	1.0	7.2	1.23
C	01.07	21.0	6.3	1.0	23.7	1.16
D	01.11	21.0	45.0	7.2	39.4	1.16
R	01.06	21.5	45.0	7.4	40.5	1.16
S		8.1	81.6	5.7	22.4	1.21

Psychrometrický diagram

Provozní režim – Léto

t [°C]



Bod	Pozice	Teplota vzduchu t [°C]	Relativní vlhkost φ [%]	Měrná vlhkost x [g/kg]	Entalpie h [kJ/kg]	Hustota ρ [kg/m³]
A	01.06	29.0	37.0	9.5	53.6	1.13
B		25.9	44.5	9.5	50.3	1.14
C	01.07	17.4	74.0	9.4	41.5	1.17
D	01.12	21.0	59.2	9.5	45.2	1.16
R	01.06	21.5	45.0	7.4	40.5	1.16
S		24.7	37.1	7.4	43.7	1.14

Detaily ke komponentům zařízení

01.01 Tlumič vložka

DV 1220-865

01.02 Klapka uzavírací LK 1220-865

- Servopohon SM 230A

01.03 Sekce tlumiče hluku XPPO 17/S

Materiál vnějšího pláště Pozinkovaný plech Materiál vnitřního pláště / Těsnost Pozinkovaný plech / L2

- Panel čelní - vstup XPK 17/P
- Montážní sada panelu XPK 17/P (MSP)

01.04 Sekce servisní XPJS 17/K

Materiál vnějšího pláště Pozinkovaný plech Materiál vnitřního pláště / Těsnost Pozinkovaný plech / L2

01.05 Sekce filtru XPHO 17/K

Materiál vnějšího pláště Pozinkovaný plech Materiál vnitřního pláště / Těsnost Pozinkovaný plech / L2

- Filtrační vložka XPNV 17/3

Tlaková ztráta pro výpočet Při středním zanesení Rychlost v průřezu [m/s]
Počáteční tlaková ztráta [Pa] 30 Třída filtrace 1.68
G3

- Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa)

01.06 Sekce deskového rekuperátoru s by-passem XPXQ 17/BP

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Teplota [°C]	21.5	21.5
Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2	Relativní vlhkost [%]	45	45
Poloha odvodu kondenzátu	Na straně se servis. Panely	Měrná vlhkost [g/kg]	7.39	7.39
<u>Vstupní parametry přívodního vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>		
Teplota [°C]	-15.0	29.0	Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.157
Relativní vlhkost [%]	95	37	Entalpie [kJ/kg]	40.48
Měrná vlhkost [g/kg]	0.99	9.53	Skutečný průtok [m³/h]	6920
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.325	1.127	Hmotnostní průtok [kg/h]	7946
Entalpie [kJ/kg]	-12.69	53.62	<u>Výstupní parametry odvodního vzduchu</u>	<u>Zima</u>
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040	Teplota [°C]	8.1
Hmotnostní průtok [kg/h]	9321	7856	Relativní vlhkost [%]	82
<u>Výstupní parametry přívodního vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>	Měrná vlhkost [g/kg]	5.65
Teplota [°C]	4.6	25.9	Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.213
Relativní vlhkost [%]	18	45	Entalpie [kJ/kg]	22.42
Měrná vlhkost [g/kg]	0.99	9.53	Skutečný průtok [m³/h]	6920
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.231	1.138	Hmotnostní průtok [kg/h]	7945
Entalpie [kJ/kg]	7.16	50.34	<u>Výkonové parametry</u>	<u>Zima</u>
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040	Účinnost [%]	54
Hmotnostní průtok [kg/h]	9320	7856	Výkon [kW]	51.4
<u>Vstupní parametry odvodního vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>	Množství kondenzátu [kg/h]	13.8
Teplota [°C]	4.6	25.9	Střední povrchová teplota [°C]	3.9
Relativní vlhkost [%]	18	45		25.3
Měrná vlhkost [g/kg]	0.99	9.53		
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.231	1.138		
Entalpie [kJ/kg]	7.16	50.34		
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040		
Hmotnostní průtok [kg/h]	9320	7856		
<u>Vstupní parametry odvodního vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>		
Teplota [°C]	4.6	25.9		
Relativní vlhkost [%]	18	45		
Měrná vlhkost [g/kg]	0.99	9.53		
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.231	1.138		
Entalpie [kJ/kg]	7.16	50.34		
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040		
Hmotnostní průtok [kg/h]	9320	7856		
<u>Vstupní parametry odvodního vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>		
Teplota [°C]	4.6	25.9		
Relativní vlhkost [%]	18	45		
Měrná vlhkost [g/kg]	0.99	9.53		
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.231	1.138		
Entalpie [kJ/kg]	7.16	50.34		
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040		
Hmotnostní průtok [kg/h]	9320	7856		

- Servopohon klapky obtoku NM 24A
- Souprava pro odvod kondenzátu XPOK 301

01.07 Sekce ohřivač, chladič, eliminátor XPQD 17/V

Materiál vnějšího pláště Pozinkovaný plech Materiál vnitřního pláště / Těsnost Pozinkovaný plech / L2

- Vodní ohřivač XPNC 17/1R

Dimenzovat na podmínky	Zima	<u>Výstupní parametry vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>
Teplonosné medium	Voda	Teplota [°C]	21.0	25.9
Vstupní teplota média [°C]	90	Relativní vlhkost [%]	6	45
Výstupní teplota média (zadaná) [°C]	70	Měrná vlhkost [g/kg]	1.00	9.53
Teplota vzduchu za ohřivačem (požadovaná) [°C]	21.0	Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.163	1.138
<u>Vstupní parametry vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>	Entalpie [kJ/kg]	23.74
Teplota [°C]	4.6	25.9	Skutečný průtok [m³/h]	7040
Relativní vlhkost [%]	18	45	Hmotnostní průtok [kg/h]	9320
Měrná vlhkost [g/kg]	0.99	9.53	Teplota vzduchu za ohřivačem (skutečná) [°C]	21.0
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.231	1.138	Výstupní teplota média (skutečná) [°C]	50
Entalpie [kJ/kg]	7.16	50.34	Topný výkon (skutečný) [kW]	39.7
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040	Tlaková ztráta média [kPa]	0.8
Hmotnostní průtok [kg/h]	9320	7856		

- Směšovací uzel SUMX 2,5 (2)

- Vodní chladič XPND 17/3R

Dimenzovat na podmínky	Léto	<u>Výstupní parametry vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>
Teplonosné medium	Voda	Teplota [°C]	21.0	17.4
Vstupní teplota média [°C]	6	Relativní vlhkost [%]	6	74
Výstupní teplota média (zadaná) [°C]	12	Měrná vlhkost [g/kg]	1.00	9.45
Teplota vzduchu za chladičem (požadovaná) [°C]	17.0	Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.163	1.172
<u>Vstupní parametry vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>	Entalpie [kJ/kg]	23.74
Teplota [°C]	21.0	25.9	Skutečný průtok [m³/h]	7040
Relativní vlhkost [%]	6	45	Hmotnostní průtok [kg/h]	9320
Měrná vlhkost [g/kg]	1.00	9.53	Teplota vzduchu za výměníkem (skutečná) [°C]	17.4
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.163	1.138	Výstupní teplota média (skutečná) [°C]	12
Entalpie [kJ/kg]	23.74	50.34	Chladičí výkon [kW]	19.7
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040	Množství kondenzátu [kg/h]	0.7
Hmotnostní průtok [kg/h]	9320	7856	Tlaková ztráta média [kPa]	1.4

- Směšovací uzel chladiče SUMX 6,3 (3)

- Eliminátor kapek XPNU 17

- Protimrazové čidlo NS 130 R

Sestava : 08 Uživatelská tisková úloha

Soubor : E:\AeroCAD\Project\Diplomka_var2.rmk

AeroCAD verze 5.1.32 - licence 3037 - uživatel Adamec.Jan - VUT Brno - fakulta stavební Ústav T7B

Strana : 6/8

Tisk : 14.01.2014,20:23

Projekt vytvořen:30.12.2013 13:40

• Souprava pro odvod kondenzátu XPOO 301

01.08 Sekce filtru**XPHO 17/D**

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Filtrační vložka XPNH 17/5			
Tlaková ztráta pro výpočet	Při středním zanesení	Třída filtrace	M5
Počáteční tlaková ztráta [Pa]	28		
• Filtrační vložka náhradní XPNS 17/7			
• Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa)			

01.09 Sekce ventilátoru**XPAA 17/P-S**

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Panel čelní - výtlač XPM 17/A			
• Ventilátor XPVR 355-224/250-11,0-J2 (IE2)			
Statický tlak [Pa]	969	Účinnost [%]	77
Celkový tlak [Pa]	1024	Elektrický příkon [kW]	3.56
• Regulator výkonu XPFM 11.0 (IP21)			
• Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa)			

01.10 Sekce difuzoru**XPJD 17**

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
--------------------------	-------------------	-------------------------------------	------------------------

01.11 Sekce zvlhčování**XPJZ 17**

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Komplet zvlhčovacího zařízení CA-UE 65/125C			
Dimenzovat na podmínky	Zima	<u>Výstupní parametry vzduchu</u>	
Relativní vlhkost vzduchu za zvlhčovačem (požadovaná) [%]	45	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>
<u>Vstupní parametry vzduchu</u>			
Teplota [°C]	21.0	21.0	17.4
Relativní vlhkost [%]	6	45	74
Měrná vlhkost [g/kg]	1.00	7.16	9.45
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.163	1.159	1.172
Entalpie [kJ/kg]	23.74	39.39	41.50
Skutečný průtok [m³/h]	7040	7040	7040
Hmotnostní průtok [kg/h]	9320	8101	7856
• Sada náhradních varných válců CA-UN 65			
• Souprava pro odvod kondenzátu XPOO 301			
• Základní hygrostat DPWC			
• Omezovací hygrostat DPDC			

01.12 Sekce ohřivače**XPTV 17**

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Vodní ohřivač XPNC 17/1R			
Dimenzovat na podmínky	Léto	<u>Výstupní parametry vzduchu</u>	
Teplonosné médium	Voda	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>
Vstupní teplota média [°C]	90	21.0	21.0
Výstupní teplota média (zadaná) [°C]	70	45	59
Teplota vzduchu za ohřivačem (požadovaná) [°C]	21.0	7.16	9.46
<u>Vstupní parametry vzduchu</u>			
Teplota [°C]	21.0	1.159	1.157
Relativní vlhkost [%]	45	39.39	45.22
Měrná vlhkost [g/kg]	7.16	7040	7040
Hustota - měrná hmotnost [kg/m³]	1.159	8101	7856
Entalpie [kJ/kg]	39.39		
Skutečný průtok [m³/h]	7040		
Hmotnostní průtok [kg/h]	8101		
• Směšovací uzel SUMX 1 (1)			
• Protimrazové čidlo NS 130 R			

01.13 Sekce tlumiče hluku**XPPO 17/S**

Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
• Panel čelní - výstup XPK 17/P			
• Montážní sada panelu XPK 17/P (MSP)			

01.14 Tlumič vložka**DV 1220-865****01.15 Tlumič vložka****DV 1220-865****01.16 Klapka uzavírací****LK 1220-865**

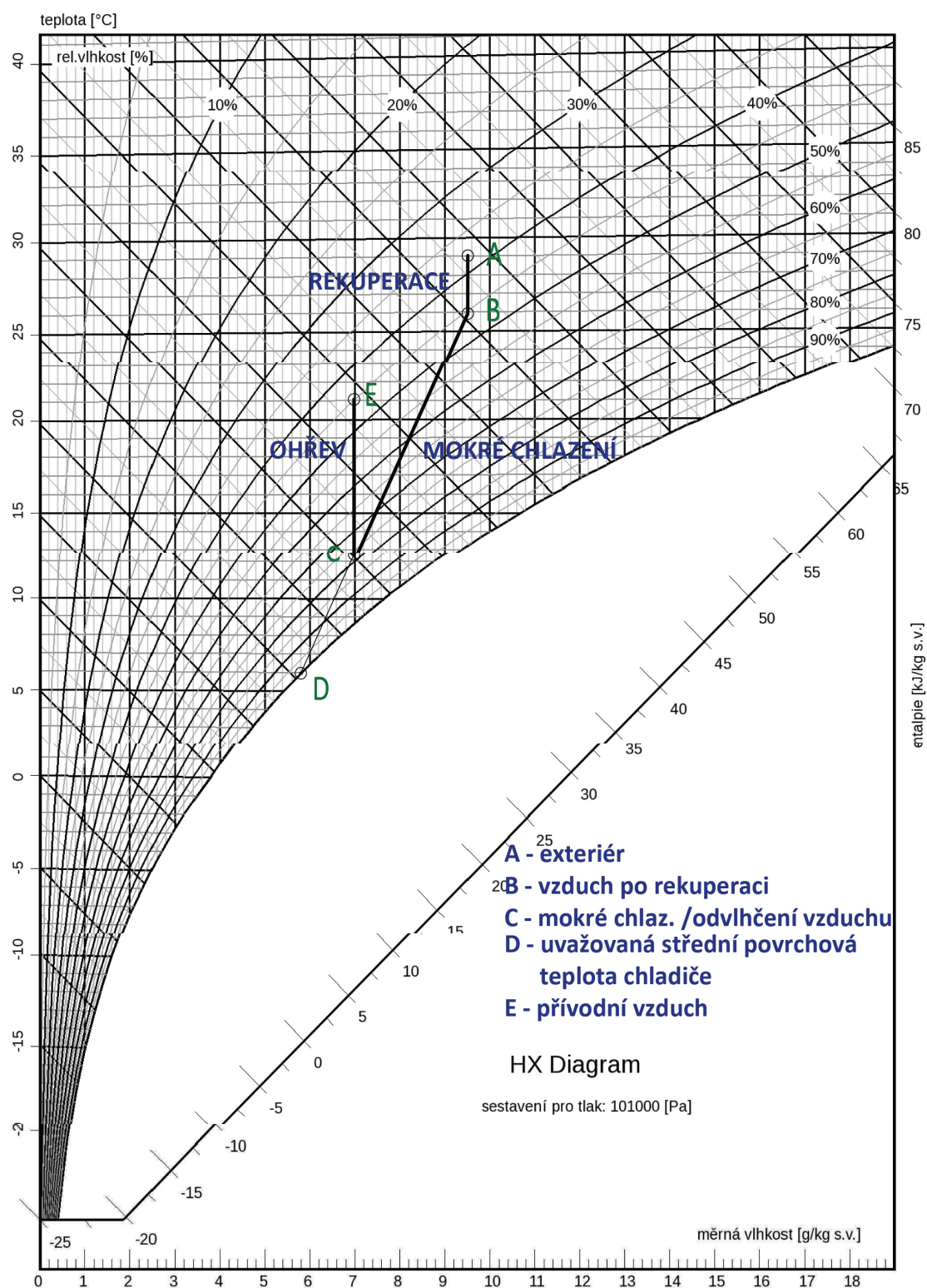
• Servopohon SM 230A

01.17 Sekce tlumiče hluku		XPPO 17/S	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<ul style="list-style-type: none"> Panel čelní - vstup XPK 17/P Montážní sada panelu XPK 17/P (MSP) 			
01.18 Sekce filtru		XPHO 17/K	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<ul style="list-style-type: none"> Filtrační vložka XPNV 17/3 			
Tlaková ztráta pro výpočet	Při středním zanesení	Třída filtrace	G3
Počáteční tlaková ztráta [Pa]	29		
01.19 Sekce eliminátoru		XPUO 17	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<ul style="list-style-type: none"> Eliminátor kapek XPNV 17 Souprava pro odvod kondenzátu XPOO 301 			
01.20 Sekce ventilátoru		XPAA 17/P-S	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<ul style="list-style-type: none"> Panel čelní - výtlak XPM 17/A Ventilátor XPVR 355-150/125-4,0-J2 (IE2) 			
Statický tlak [Pa]	316 368	Účinnost [%]	64 1.57
<ul style="list-style-type: none"> Regulátor výkonu XPFM 4.0 (IP21) Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa) 			
01.21 Sekce difuzoru		XPJD 17	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<ul style="list-style-type: none"> Difuzor XPNV 17 			
01.22 Sekce tlumiče hluku		XPPO 17/S	
Materiál vnějšího pláště	Pozinkovaný plech	Materiál vnitřního pláště / Těsnost	Pozinkovaný plech / L2
<ul style="list-style-type: none"> Panel čelní - výstup XPK 17/P Montážní sada panelu XPK 17/P (MSP) 			
01.23 Tlumicí vložka		DV 1220-865	

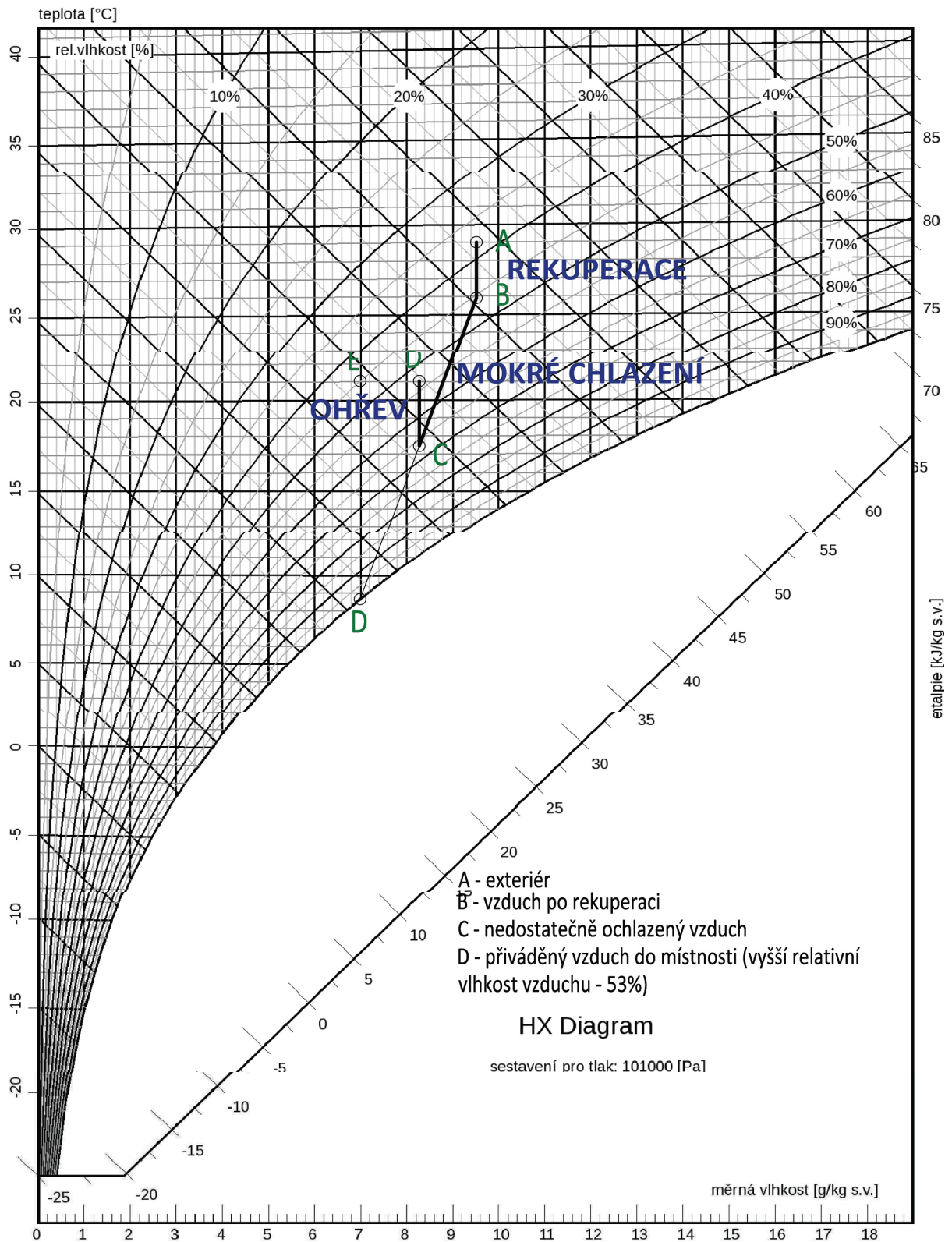
Doplňky		Počet	Kód
01.XX	Spojovací sada	11 ks	XPSSS17MR
01.XX	Spojovací sada	1 ks	XPSSS17VR
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1715603P
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503P
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1707503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1702503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1707503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1712503S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1705003S
	pro sekci		
01.XX	Základový rám	1 ks	XPROS1705003S
	pro sekci		
01.24	Řídící jednotka	1 ks	VWBC01H1D00FB009000900C05210
	Čidlo teploty venkovního vzduchu	1 ks	31E55010102
	Čidlo teploty a vlhkosti v přívodu	1 ks	31E02010247
	Čidlo prostorové teploty a vlhkosti	1 ks	31E02010247

Výrobní (přepravní) bloky sekcí	
Blok sekcí	258.6 kg
pro sekci	01.18 XPHO 17/K
pro sekci	01.17 XPPO 17/S

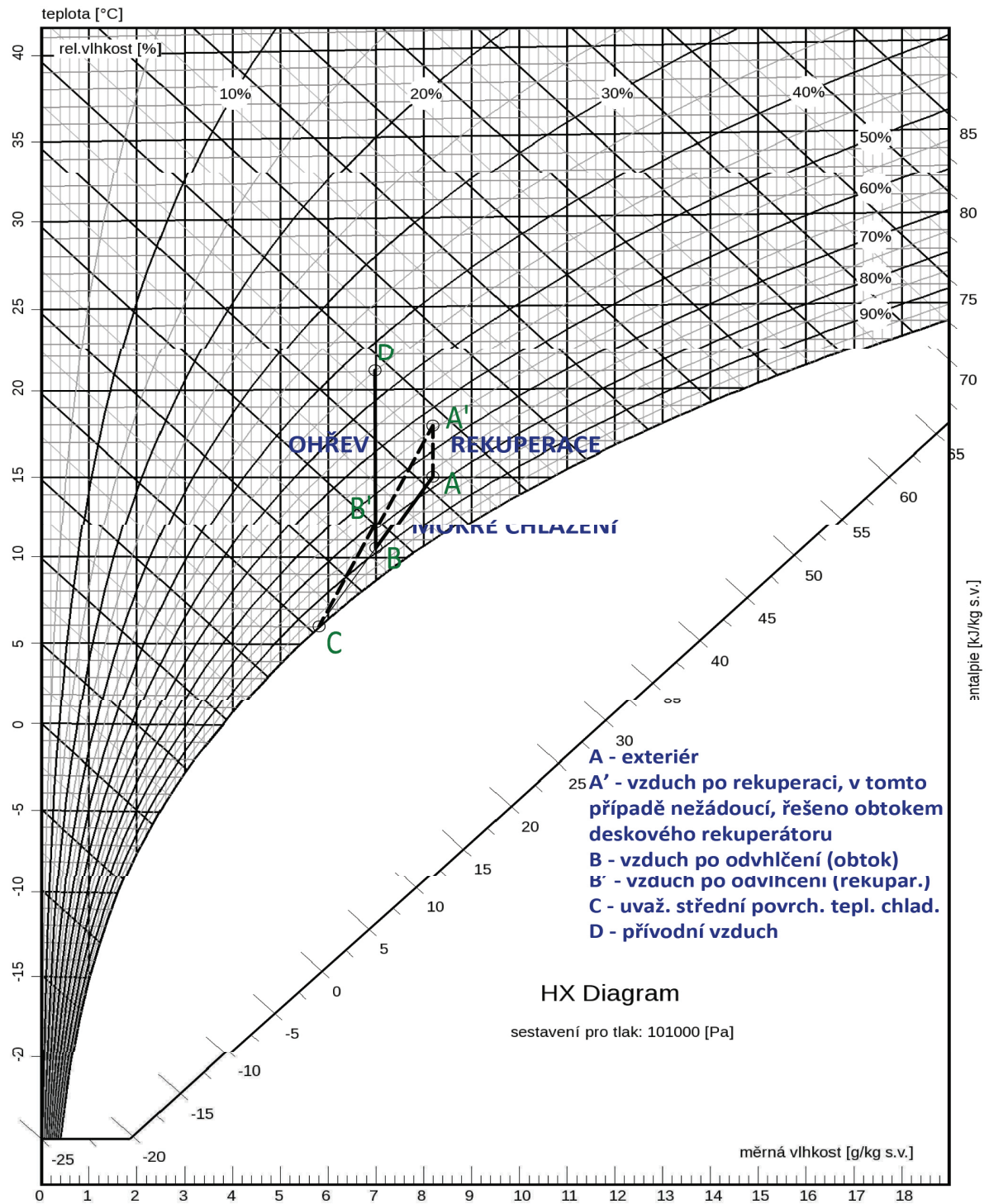
H-X DIAGRAMY



Úprava vzduchu v letním období pro 1. variantu.



Úprava vzduchu v letním období pro 2. variantu /nedostatečné odvlhčení při použití pouze jednoho vodního chladiče/.



Úprava vzduchu pro jiné vstupní podmínky ($t_e=15^\circ\text{C}$, $\phi_e=76\%$). Zde je rekuperace kontraproduktivní, protože potřebujeme vyšší výkon pro chlazení. Toto je řešeno obtokem deskového rekuperátoru, jehož funkce musí být zajištěna oborem MaR, který musí vyhodnocovat dané stavy vzduchu, aby nedocházelo zbytečně k neekonomickému provozu zařízení.

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Projekt vzduchotechniky čistého prostoru - laboratoře, která je umístěna v 1.NP, řeší větrání dané místnosti s definovanou třídou čistoty ISO Třída 4. Prostor je rozdělen na hlavní pracovní prostředí – samotná laboratoř a tzv. airlock, místnost, oddělující ošetřované prostředí od ostatních prostor budovy.

VÝCHOZÍ PODKLADY

Výkresová dokumentace řešené části objektu

Normy a předpisy (již zmíněné výše)

Technické podklady výrobců vzduchotechnických zařízení a výrobců specifických prvků stavebních konstrukcí pro čisté prostory

POPIS ZAŘÍZENÍ

Na základě požadavků bude vzduchotechnika zajišťovat větrání a klimatizaci prostoru. Tuto funkci bude plnit samostatná vzduchotechnická jednotka umístěna ve vedlejší místnosti – strojovně. Pro každou variantu návrhu je jednotka dimenzována zvlášť z důvodu různých tlakových ztrát a nepatrně rozlišných průtoků vzduchu.

ZAŘÍZENÍ Č. 1 – VZDUCHOTECHNICKÁ JEDNOTKA

Větrání daných prostor je řešeno jako přetlakové, z důvodu zamezení vniku nežádoucích resp. škodlivých částic do laboratoře. VZT jednotka v hygienickém provedení je vybavena 2° filtrací – na vstupu filtrem G3, na výstupu F7. V jednotce jsou dva samostatné ventilátory – odvodní a přívodní, deskového rekuperátoru – z důvodu oddělení proudů vzduchu, poněvadž míšení přívodního a odvodního vzduchu je v tomto případě nežádoucí, vodního ohřívače (teplotní spád 70/90 °C), vodního chladiče (tepl. spád 6/12 °C), dále komorou parního zvlhčovače, který je schopen produkovat sterilní vodní páru, tlumičů hluku a tlumících vložek. Vodní ohřívač je napojen na stávající zdroj tepla umístěný ve stejném podlaží daného objektu, vodní chladič je napojen na vlastní zdroj chladu, který je umístěn v exteriéru. Ve VZT jednotce bude vzduch upravován na požadované parametry. Jednotka je vyhotovena v interiérovém provedení, tudíž není třeba žádných speciálních opatření před povětrnostními vlivy. Přívodní potrubí je opatřeno tepelnou izolací z důvodu co nejmenšího kolísání teplot.

1. VARIANTA

Přívod vzduchu do místností (jak do laboratoře, tak do airlock prostoru) je řešen čistými nástavci ForClean s filtračními nástavci Purofil (rozměr 570x570 mm, typ FNC) s 3° filtrací vzduchu, které jsou zavěšeny na stropní konstrukci. Nástavce jsou opatřeny sondami pro měření tlakové ztráty (úroveň zanesení filtru) a sondami pro měření těsnosti. Distribuční prvky jsou propojeny s potrubím flexibilní hadicí Sonoflex MO 254 (průměr hadice 250 mm). Vzduch je odváděn vzduchotechnickými mřížkami typu VPR (opatřeny regulací), které jsou osazeny do přiček u podlahy. Čisté nástavce mají počáteční tlakovou ztrátu 100 Pa, koncová tlaková ztráta se může vyšplhat až na 450 Pa, z tohoto důvodu je nutná pravidelná kontrola a údržba VZT zařízení min. 1x za 3 měsíce.

Množství větracího vzduchu:

Přívod: 7020 m³/h

Odvod: 6900 m³/h

PARAMETRY ZAŘÍZENÍ

Ventilátor

Příkon: 2,61 kW, Účinnost: 74%, Celkový tlak: 711 Pa, Statický tlak: 657 Pa.

Ohřívač

Teplotní spád otopné vody 90/70 °C, teplota vzduchu za ohřívačem: 21 °C, výkon (viz návrh VZT jednotky – výstup ze softwaru AeroCAD).

Chladič

Přímý výparník, teplota vzduchu za chladičem: 9 °C, výkon (viz návrh VZT jednotky – výstup ze softwaru AeroCAD).

Zvlhčovač

Parní výkon: 63,4 kg/h.

Deskový rekuperátor

Účinnost: 60% (zima), 43% (léto), Výkon: 57,4 kW (zima), 6,9 kW (léto), Množství kondenzátu: 26,6 kg/h (zima), Střední povrchová teplota: 5,6 °C (zima), 25,2 °C (léto).

2. VARIANTA

Vzduch je do místností distribuován kompaktními filtračními kazetami s individuálním napájením Astrocel TM Hood s 3° filtrace vzduchu. Tyto prvky jsou osazeny do konstrukce těsného podhledu, dle doporučení výrobce. Elementy jsou opatřeny sondami pro sledování tlakové ztráty a těsnosti. Připojení k přívodnímu potrubí je řešeno jako v předchozí variantě flexibilními hadicemi Sonoflex MO 254. Vzduch je odváděn přes perforovanou podlahu (rychlost proudění vzduchu u podlahy je 0,1 m/s) do větracích mřížek – TROX – TRS-K, které jsou instalovány přímo do odvodního čtyřhranného potrubí. Distribuční prvky mají počáteční tlakovou ztrátu přibližně 200 Pa. I zde je nutná pravidelná kontrola a údržba zařízení.

Množství větracího vzduchu:

Přívod: 7040 m³/h

Odvod: 6920 m³/h

PARAMETRY ZAŘÍZENÍ

Ventilátor

Příkon: 3,56 kW, Účinnost: 77%, Celkový tlak: 1024 Pa, Statický tlak: 969 Pa

Ohřívač

Teplotní spád otopné vody 90/70 °C, teplota vzduchu za ohřívačem: 21 °C, výkon (viz návrh VZT jednotky – výstup ze softwaru AeroCAD)

Chladič

Teplotní spád chladicí vody 6/12 °C, teplota vzduchu za chladičem: 17,4 °C, výkon (viz návrh VZT jednotky – výstup ze softwaru AeroCAD)

Zvlhčovač

Parní výkon: 63,4 kg/h

Deskový rekuperátor

Účinnost: 60% (zima), 43% (léto), Výkon: 57,4 kW (zima), 6,9 kW (léto), Množství kondenzátu: 26,6 kg/h (zima), Střední povrchová teplota: 5,6 °C (zima), 25,2 °C (léto)

Teplotní a vlhkostní parametry

V tomto konkrétním případě je zejména prioritní zejména teplota, jejíž kolísání by mělo být minimální.

Venkovní vzduch:

zima: $t_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $x_e = 0,99\text{ g/kg}$

léto: $t_e = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$, $x_e = 9,53\text{ g/kg}$

Vnitřní vzduch:

Zima: $t_i = 21 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_i = 45 \pm 10\%$

Léto: $t_i = 21 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_i = 45 \pm 10\%$

Tlakové rozdíly mezi místnostmi

Z hlediska tlakového spádu je nutné dodržet přetlak z čistšího prostoru do prostoru méně čistého. Doporučená hodnota se pohybuje okolo 15 Pa. Přetlaku je dosaženo netěsnostmi dveří, případně osazením větrací mřížky do dveří nebo stavební konstrukce.

POŽADAVKY NA NAVAZUJÍCÍ PROFESE

STAVEBNÍ KONSTRUKCE

bourání a výstavba nových svislých konstrukcí dle projektové dokumentace

prostupy stavebními konstrukcemi pro VZT potrubí (viz PD)

v prostupech stěnami potrubí obalit izolací, která zabraňuje přenosu chvění do stavební konstrukce

specifické stavební konstrukce pro tvorbu čistého prostoru jsou uvedeny výše

SILNOPROUD A MaR

hlavní přívod k VZT jednotce, prokabelování, připojení a zprovoznění veškerých zařízení (VZT jednotka, kompaktní distribuční prvky apod.)

ovládání a regulace VZT zařízení

dodávka a montáž čidel, ovladačů atd.

ZDRAVOTECHNIKA

Odvod kondenzátu z chladicí komory vodního chladiče (resp. výparníku), komory parního zvlhčovače, deskového rekuperátoru a eliminátoru kapek.

ÚT

Napojení teplovodního ohřivače VZT jednotky na rozvody ÚT

TEPELNÉ IZOLACE

Tepelnou izolací – Rockwool Larock 40 ALS (tl. 20 mm) je opatřeno pouze přívodní potrubí z důvodu minimálního kolísání teploty přiváděného vzduchu do místnosti. Odvodní potrubí není opatřeno tepelnou izolací.

BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ

Protipožární opatření

Vzduchotechnické zařízení je vyhotoveno v souladu s normou ČSN 73 0872. Při průchodu VZT potrubí požárně dělící konstrukcí je nezbytně nutné, aby bylo opatřeno protipožární klapkou v případě, že daný průřez má plochu větší než 40 000 mm².

Protihluková a protiotřesová opatření

Je nutné, aby byla provedena taková opatření, která zamezí šíření hluku do větrané místnosti, resp. venkovního prostoru:

Potrubní rozvody jsou odděleny od VZT jednotky tlumicími pružnými vložkami

Rychlost proudění vzduchu v potrubí a v distribučních prvcích je volena tak, aby proudění vzduchu nezpůsobovalo nadměrný hluk

Pro zabránění přenosu hluku a přenášení chvění do stavebních konstrukcí bude řešeno obalením minerální vatou či jiným vhodným zvukově izolačním materiálem

Vliv na životní prostředí

Škodliviny odváděné vzduchotechnickým zařízením do volné atmosféry neobsahují žádné látky, které by ohrožovaly ovzduší ve smyslu Zákona o ovzduší.

Životní prostředí nebude zhoršeno, navržené zařízení splňuje požadavky Nařízení vlády č.178/2001 Sb., částka 68, č.523/2002 Sb., částka 180 a č.502 /2000 Sb., částka 146.

POKYNY PRO MONTÁŽ A OBSLUHU

Montáž zařízení musí být provedena odbornou firmou, vybavenou pracovníky s odpovídající kvalifikací a potřebnou měřicí technikou při dodržení veškerých bezpečnostních a montážních předpisů platných pro jednotlivá zařízení. Po smontování budou provedeny individuální zkoušky pro ověření mechanické funkce smontovaných zařízení bez chodu.

- zavěšení potrubí provést na závěsy
- jinak dle běžných montážních postupů

Zařízení bude zaregulováno na projektované parametry a zprovozněno, při hygienickém hodnocení bude předložen doklad o výsledku zaregulování. Zhotovené dílo bude předáno „Zápisem o předání a převzetí“ bez vad a nedodělků a bude odpovídat smluvené kvalitě dle ČSN, včetně dodaných atestů, záručních listů, provozních předpisů a návodů k používání dodaných zařízení, prohlášení o shodě,

protokolu o zaregulování zařízení. V protokolu o předání a převzetí musí být uvedeno, že zařízení je dodáno a namontováno v souladu s projektem.

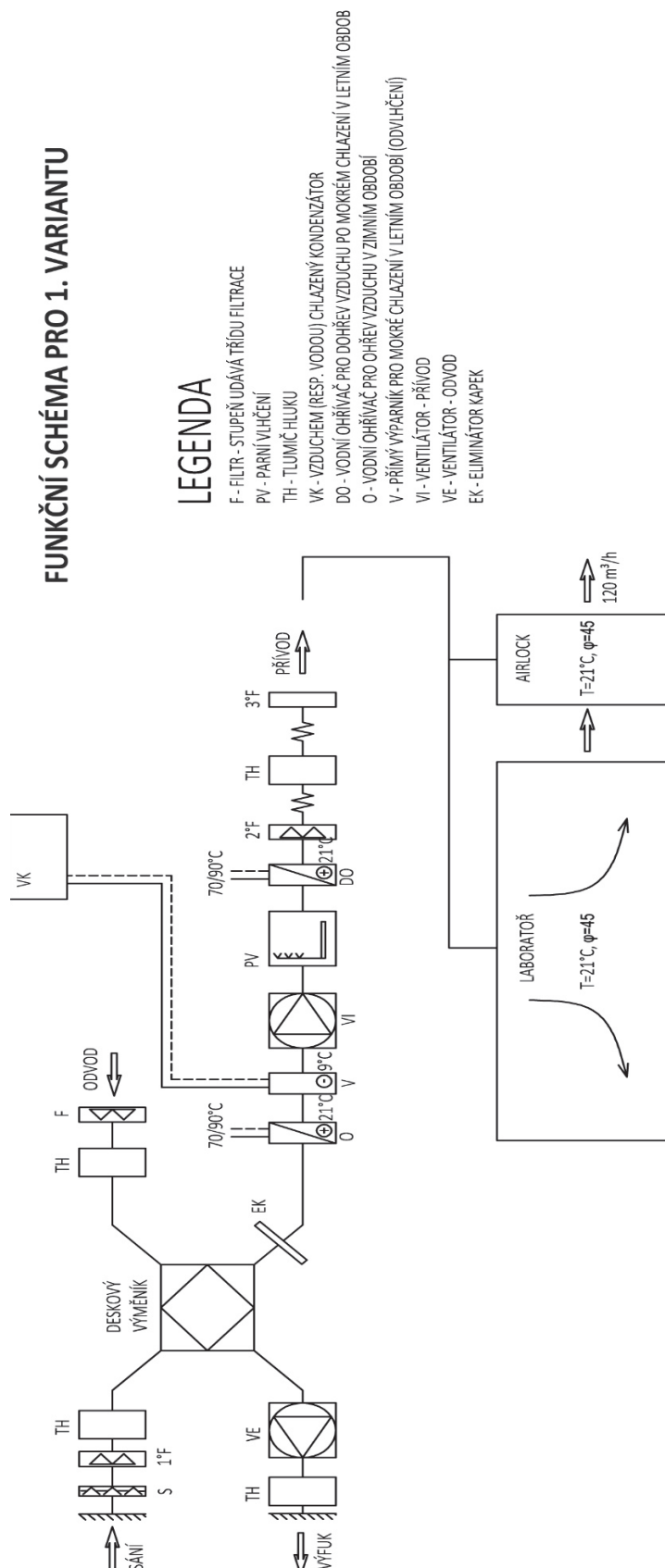
Obsluha spočívá pouze ve spouštění zařízení ručními spínači. Určená obsluha musí být odborně zaškolená, musí mít znalosti o funkci vzduchotechniky a navazujících profesích, včetně provozních a bezpečnostních předpisů. Údržbu by měla provádět zaučená osoba. Zařízení musí být pravidelně kontrolováno a udržováno ve lhůtách stanovených bezpečnostními předpisy jednotlivých výrobců tj. musí mít kvalifikovaný servis. Zařízení je nutno provozovat v souladu s provozním řádem. Součástí údržby je kontrola stavu celého zařízení. Jinak dle provozních předpisů jednotlivých vzduchotechnických elementů, které jsou dodány současně s výrobky.

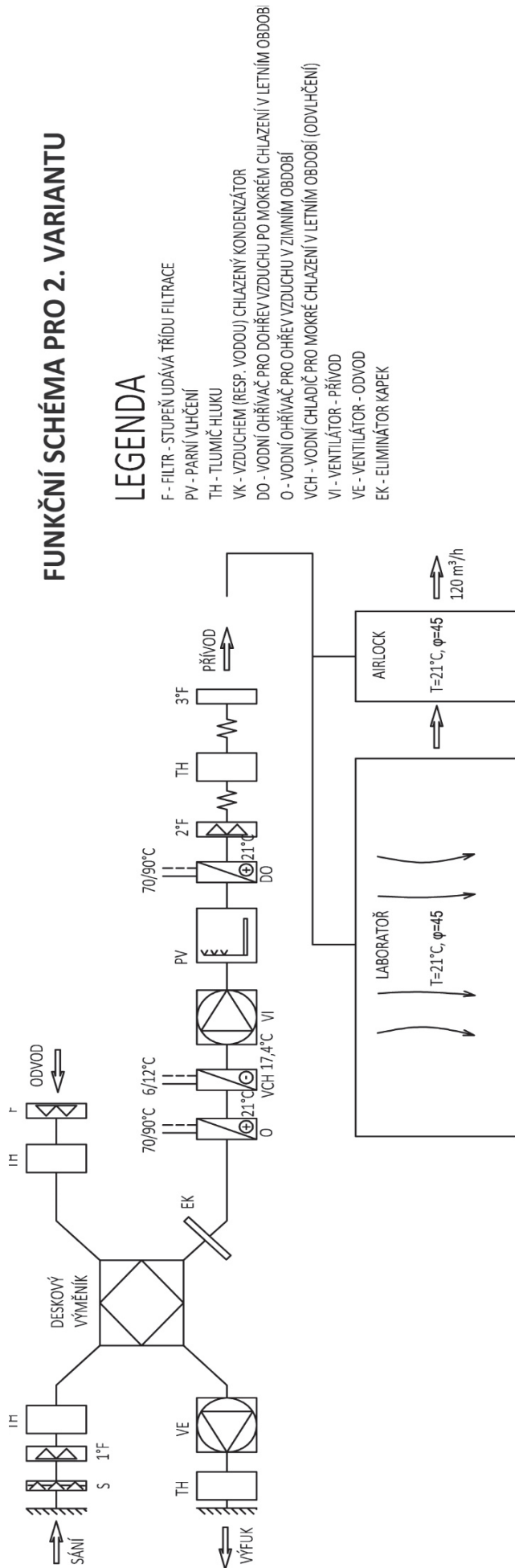
ZÁVĚREČNÁ USTANOVENÍ

Navržené větrací zařízení zcela splňuje nároky kladené na provoz a je v souladu s doporučenými hygienickými normami. Výkresová dokumentace v provedení pro realizaci je v měřítku 1:50 a obsahuje přehledné řešení vzduchotechnického zařízení.

FUNKČNÍ SCHÉMATA

FUNKČNÍ SCHÉMA PRO 1. VARIANTU





ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

Obě navržené varianty pracují s téměř shodnou výměnou vzduchu. Relativně velký rozdíl je v tlakových ztrátách, zejména díky rozdílných přívodních distribučních prvků.

Hlavní výhodou druhé varianty je předpoklad laminárního proudění vzduchu v místnosti, kdy vzduchu je přiváděn ze stropu a je odsáván přes perforovanou podlahu prvky odvodního potrubí vzduchotechniky, tudíž je minimalizován pohyb nežádoucích částic v prostoru, protože je jednosměrným prouděním zachytáván a odváděn. Vzhledem k min. výšce perforované podlahy je bohužel snížená světlá výška místnosti oproti první variantě (viz výkresová dokumentace). Perforovaná podlaha je sama docela nežádoucí konstrukce, v případě, že v dané laboratoři bude probíhat práce s nějakými mikročásticemi, v takovém případě je navržený typ perforované podlahy nepřijatelný. V první variantě jsou navrženy čisté nástavce, s regulovatelnou vířivou vyústí, a v místnosti je předpokládáno turbulentní proudění, kdy vzduch je odsáván stěnovými mřížkami, umístěnými u podlahy. Nášlapná vrstva podlahy bude provedena z PVC, jakožto nejvhodnější materiálu pro elektrotechnické laboratoře.

Tepelné ztráty místnosti jsou zanedbatelné vzhledem k vnitřním ziskům a ohřívač primárně pokrývá pouze tepelnou ztrátu větráním. Ekonomika provozu je náročnější u druhé varianty, kdy ventilátory pracují s vyšším výkonem, se kterým roste i příkon, tudíž nezbytně i cena provozu vzduchotechnické jednotky. Nehledě na finančně náročnější provedení stavební rekonstrukce daných prostor – zejména podlaha.

V 1. variantě bylo použito v návrhu chladicího zařízení přímého výparníku, který se ukázal jako jednoznačné řešení pro chlazení resp. odvlhčování, které v 2. variantě s vodním chladičem, s teplotním spádem 6/12°C, je naprosto nevyhovující přísným požadavkům na vnitřní mikroklima. V takovém případě by bylo nutné umístit několik chladičů za sebou, aby bylo možné nějakým způsobem dosáhnout požadavků, ale toto řešení se jeví jako naprosto ekonomicky nevýhodné.

C. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

Experimentální část diplomové práce se zabývá monitorováním stavu vzduchu v již stávajícím čistém prostoru daného objektu. Kontrolovanými veličinami je relativní vlhkost a teplota vzduchu.

Popis experimentu

V daném prostoru jsou umístěny čidla snímající hodnoty výše uvedených veličin a tyto data jsou ukládána na centrální server celého regulačního systému vzduchotechniky v budově.

Místo experimentu

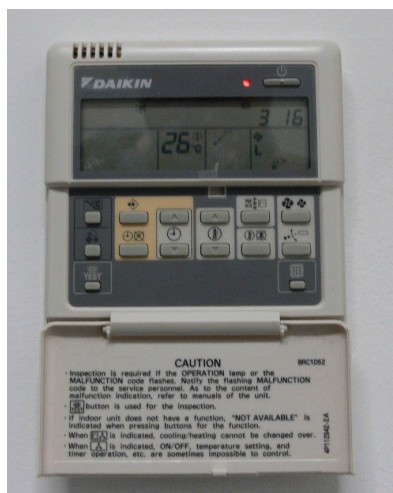
Měření bylo prováděno v budově, která slouží jako výzkumné středisko elektrotechnických součástek. Hlavní prioritou je zamezit relativně velkým výkyvům teploty vzduchu, kdy je relativní vlhkost vzduchu je podřadnějším měřítkem kvality vnitřního mikroklimatu.

Budova má několik podlaží, mnou řešené prostory se nacházejí v 3. nadzemním podlaží. Prostor nemá žádné okna či jiné otvory do vnějšího prostoru a stěny jsou orientovány na východ, jih a západ. Místnost má obdélníkový tvar a půdorysnou plochu přibližně 80 m².

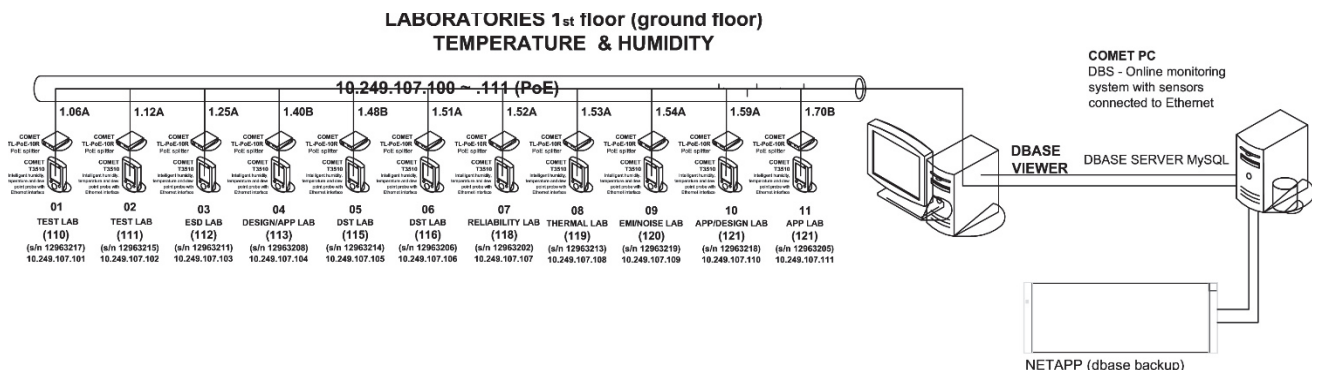
Měřicí technika

Měřicí čidla jsou umístěny přibližně 0,5 m pod stropní konstrukcí, odkud je vzduch přiváděn. Vzduch v dané místnosti je odváděn vzduchotechnickými mřížkami u podlahy.

Ukázky měřících zařízení umístěných v budově



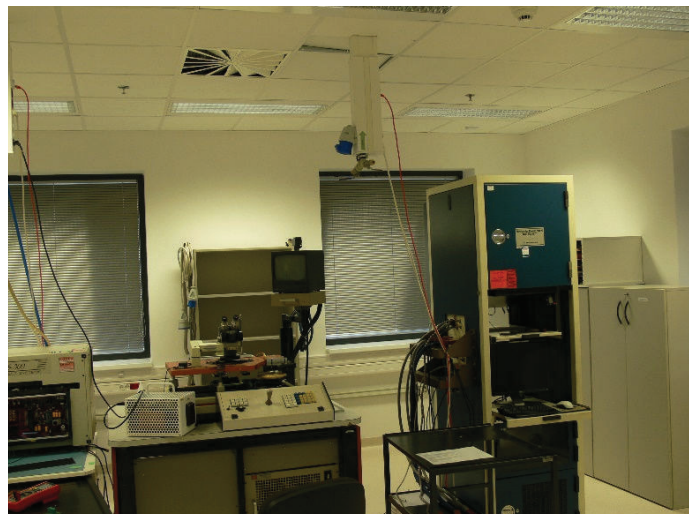
Ukázka regulačního systému v 1. podlaží budovy, ve které probíhalo měření



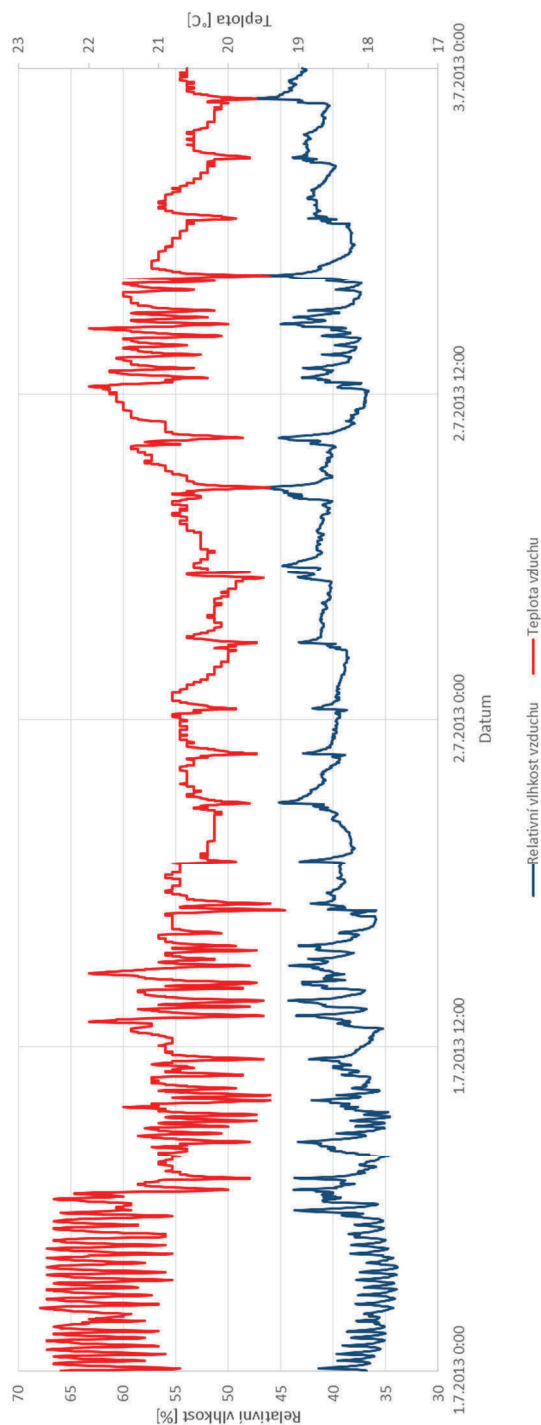
Grafické výstupy naměřených hodnot – průběh relativní vlhkosti a teploty vzduchu za určený časový úsek

Měření bylo prováděno 1.7-13. 7. 2013. Interval záznamu je 1 minuta.

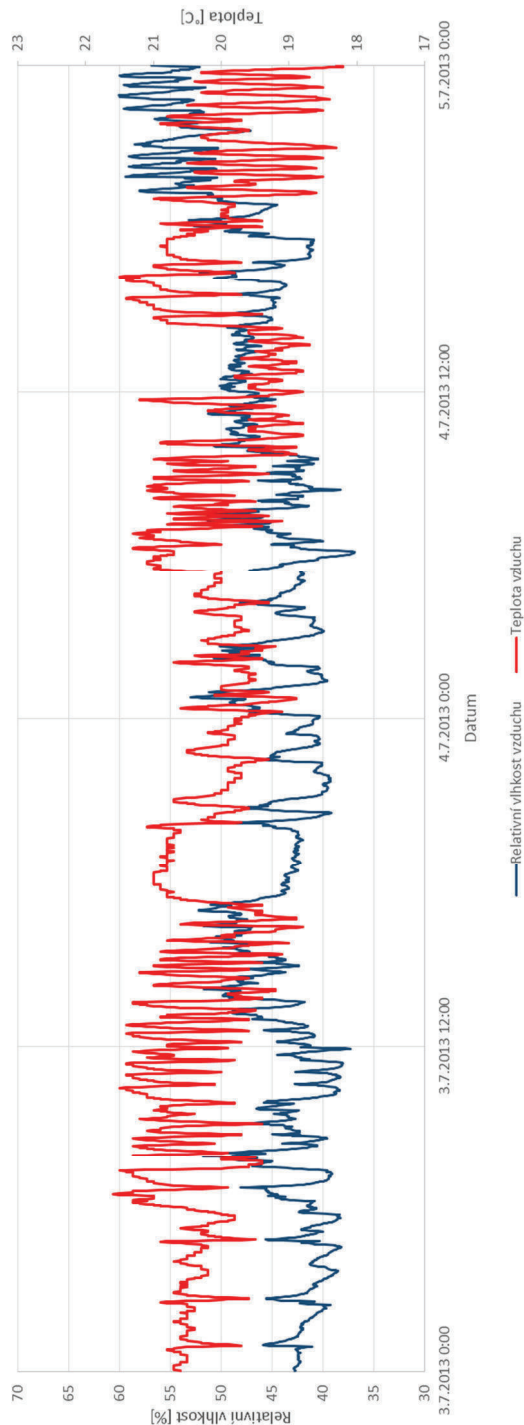
Ukázky z laboratoří s menšími nároky na kvalitu vnitřního prostředí, ve kterých měření probíhalo.

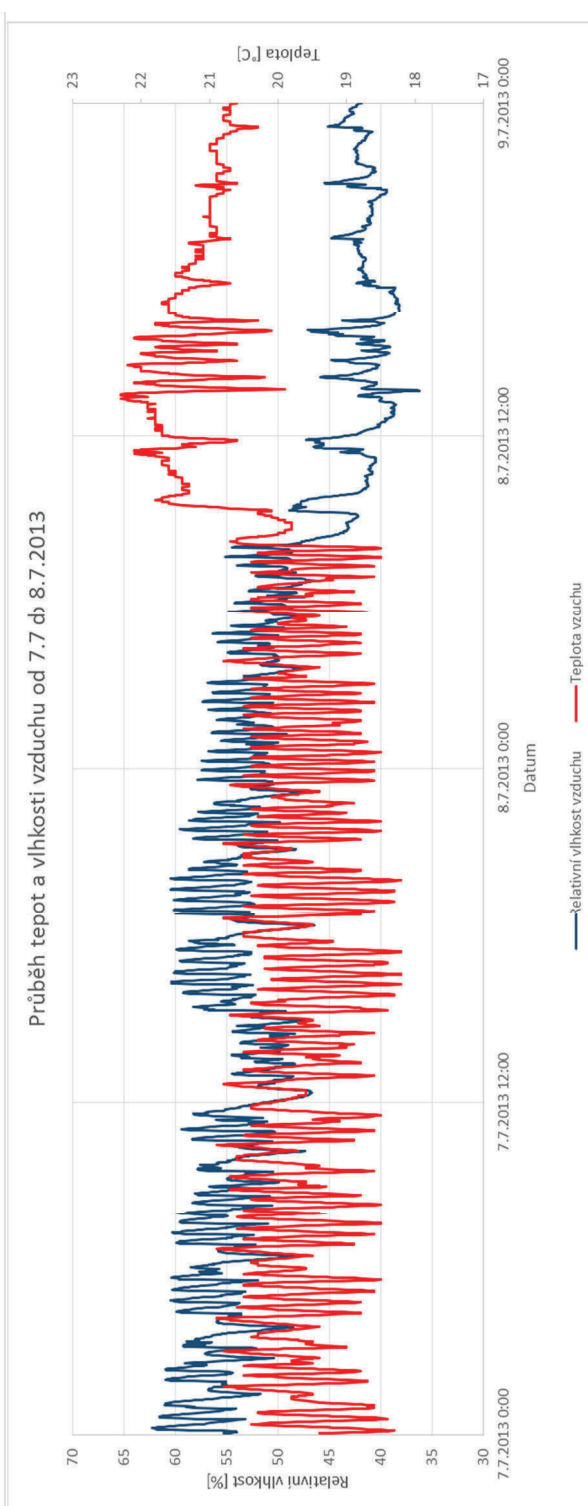
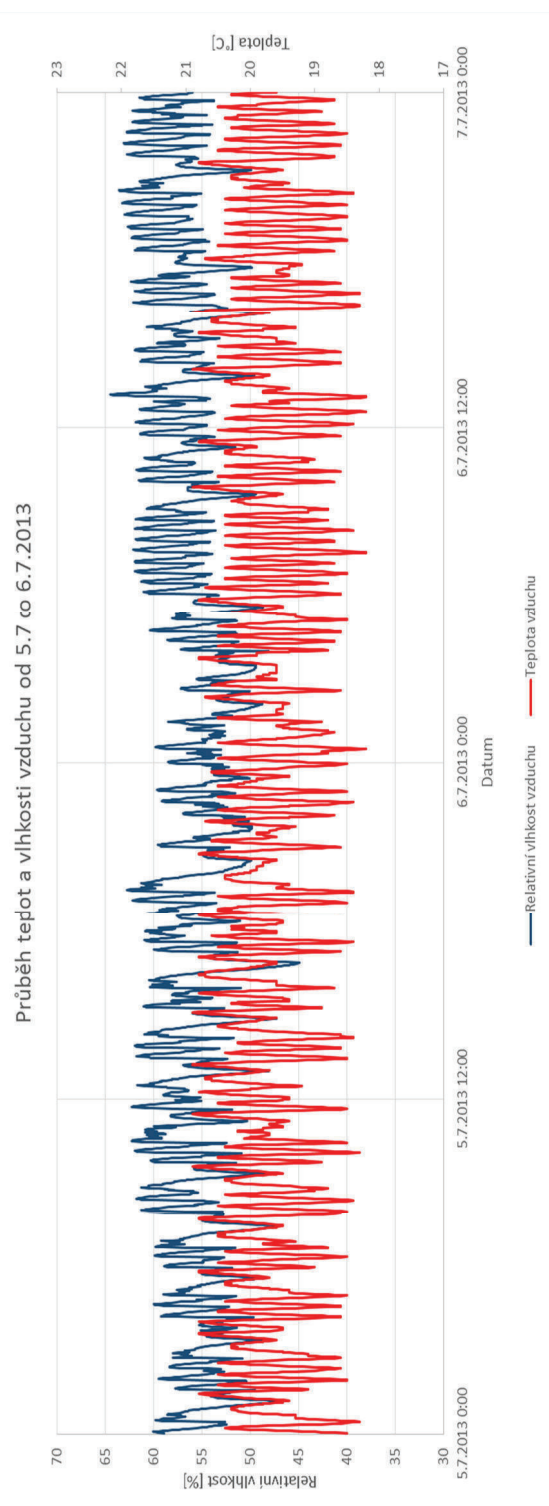


Průběh tepot a vlhkosti vzduchu od 1.7.2013 do 2.7.2013

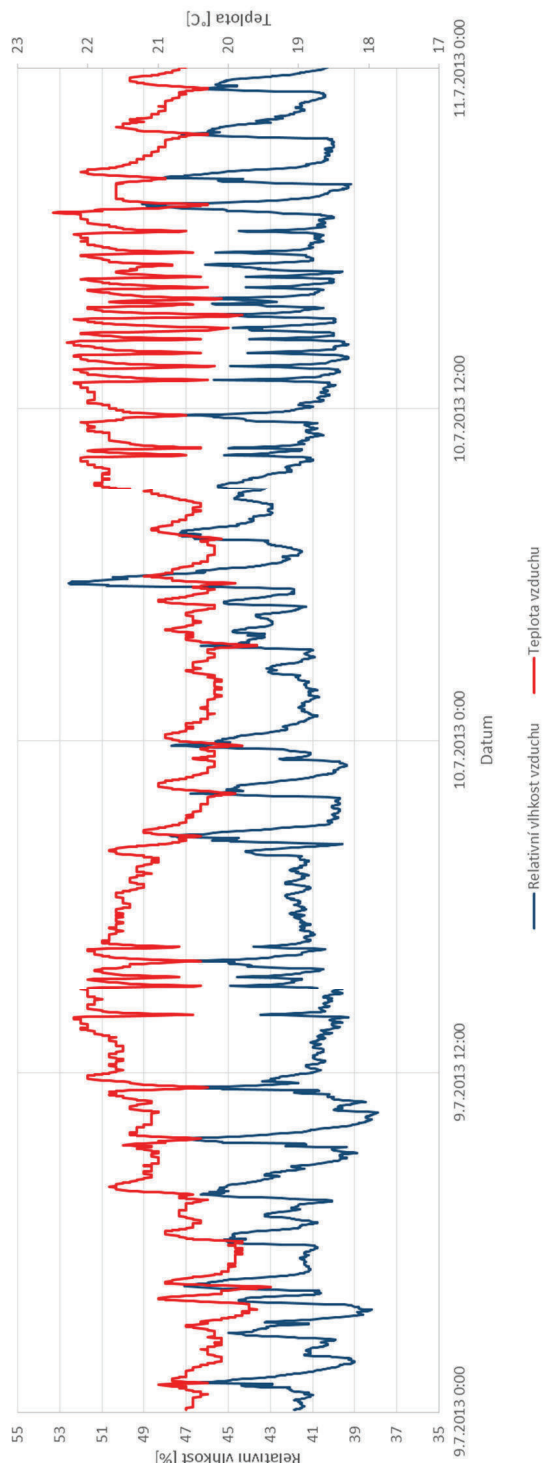


Průběh tepot a vlhkosti vzduchu od 3.7.2013 do 4.7.2013

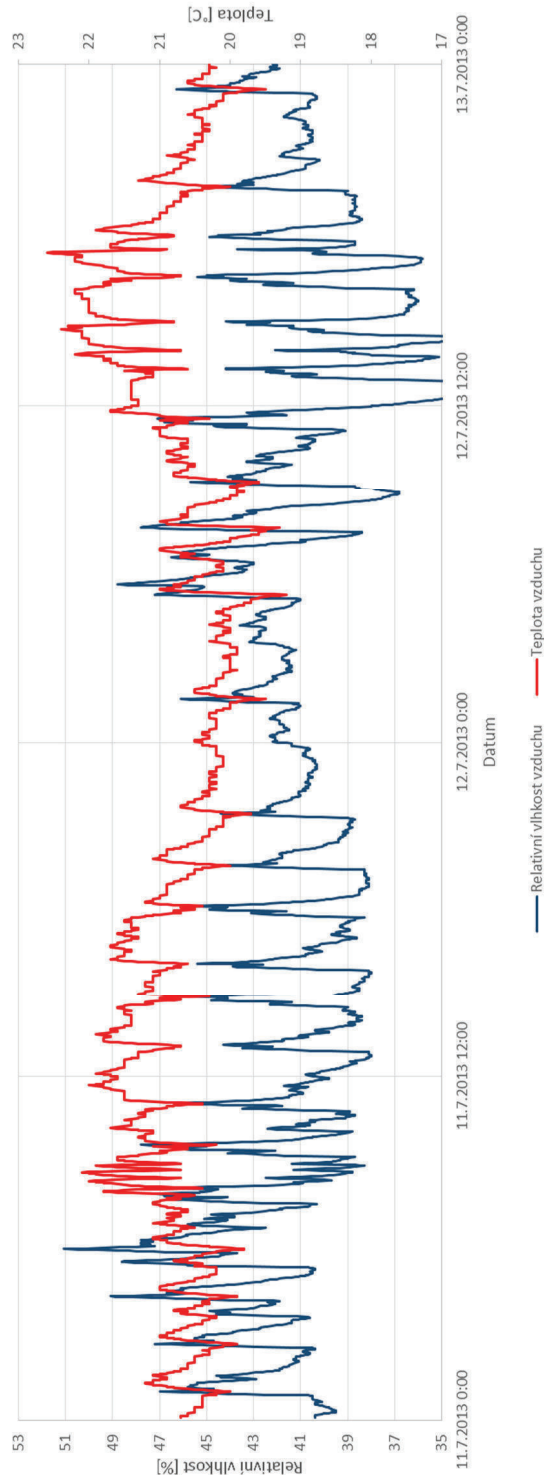


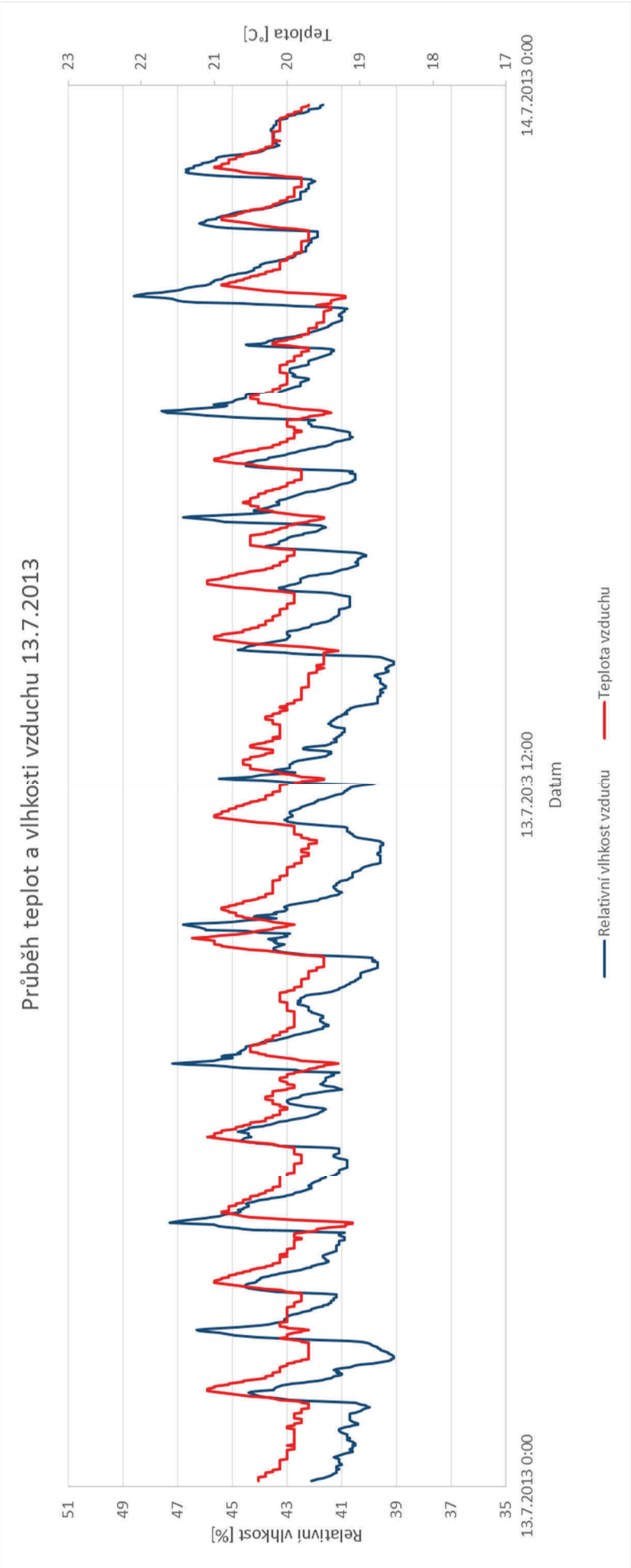


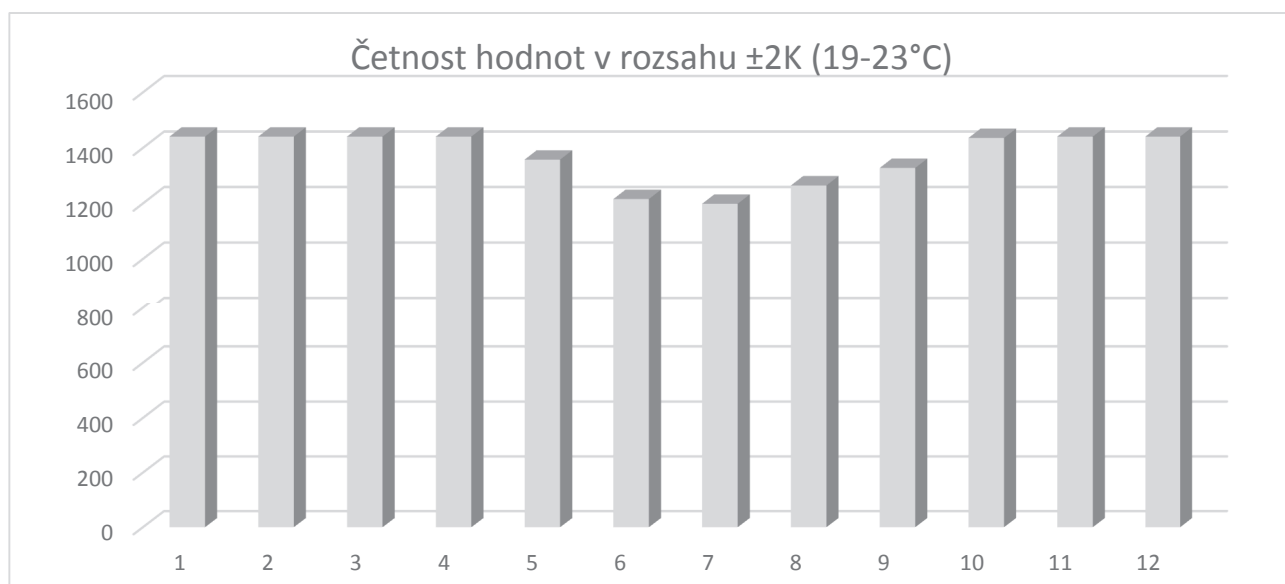
Půběh teplot a vlhkosti vzduchu od 9.7 do 10.7.2013

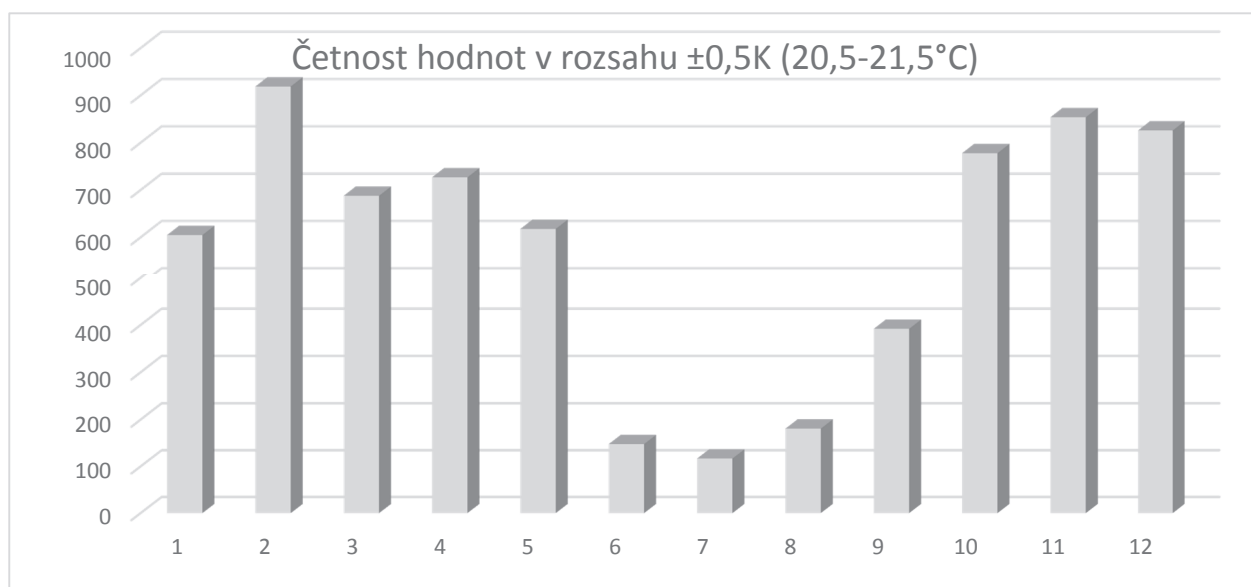
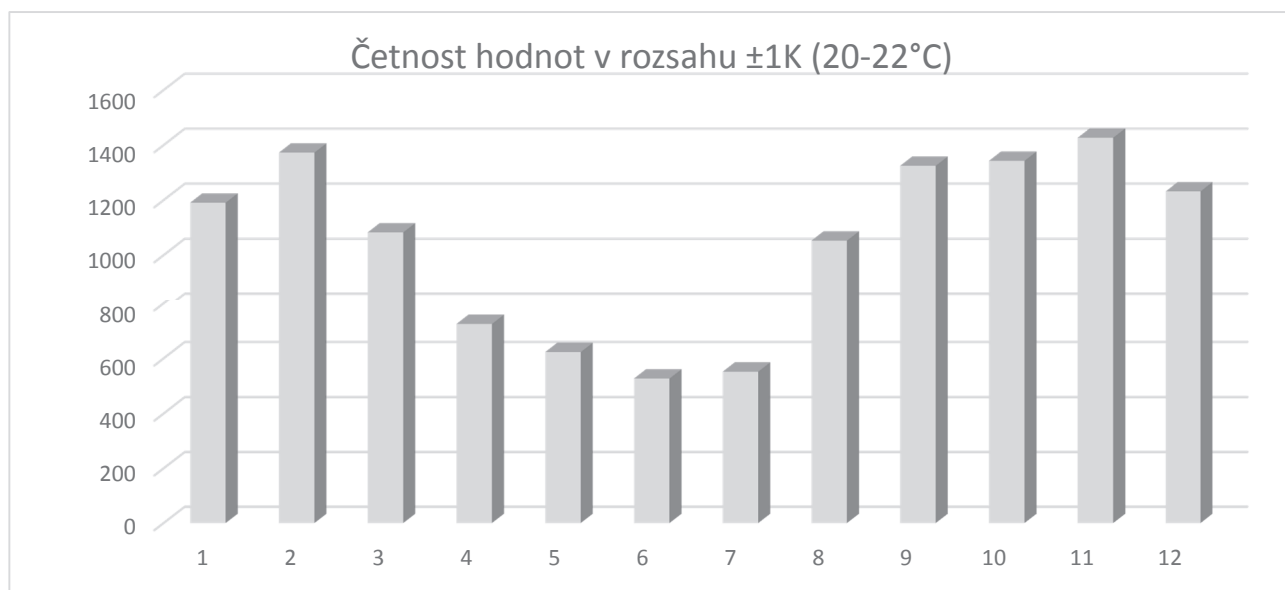


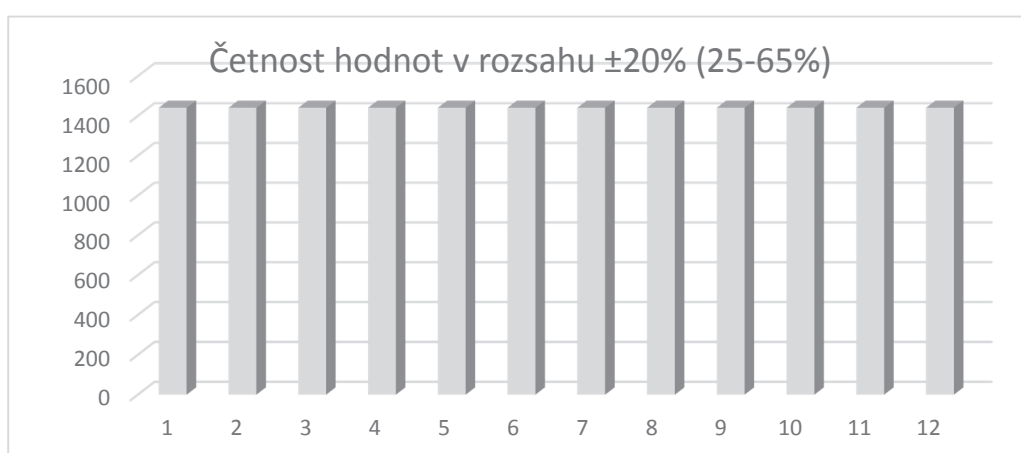
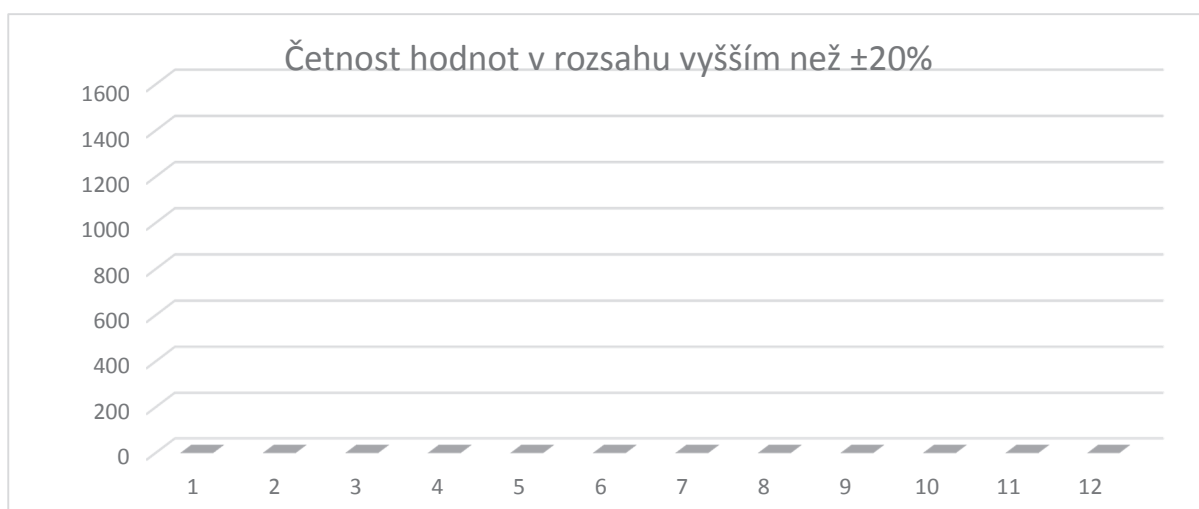
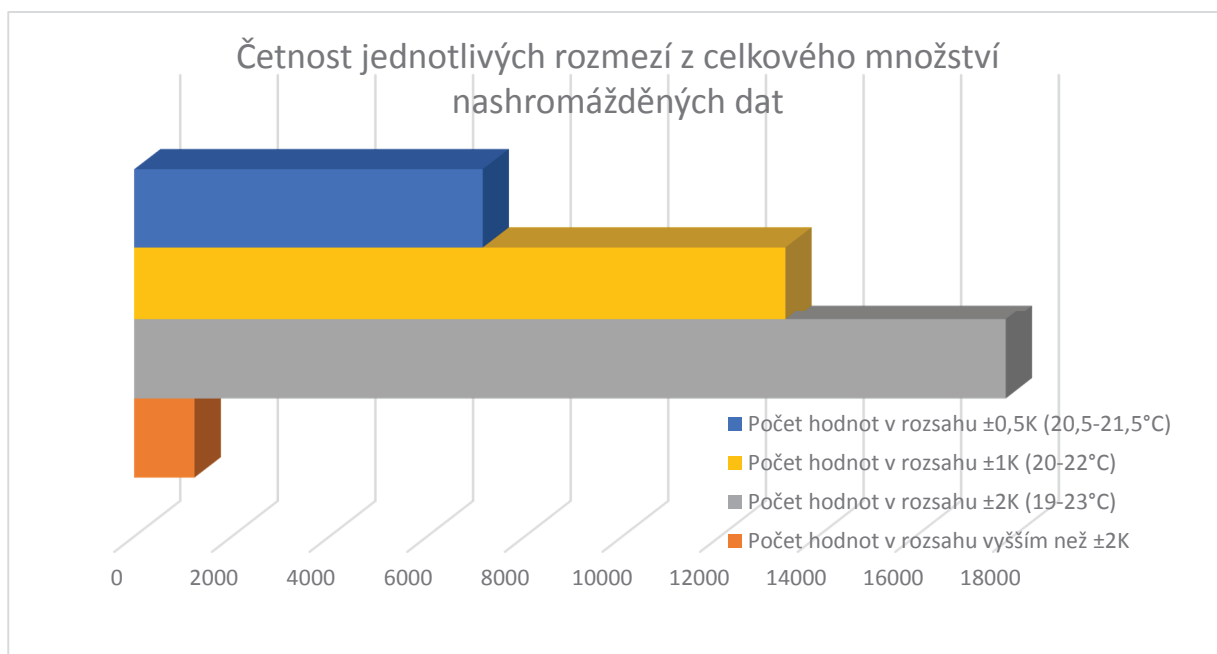
Půběh teplot a vlhkosti vzduchu od 11.7 do 12.7.2013

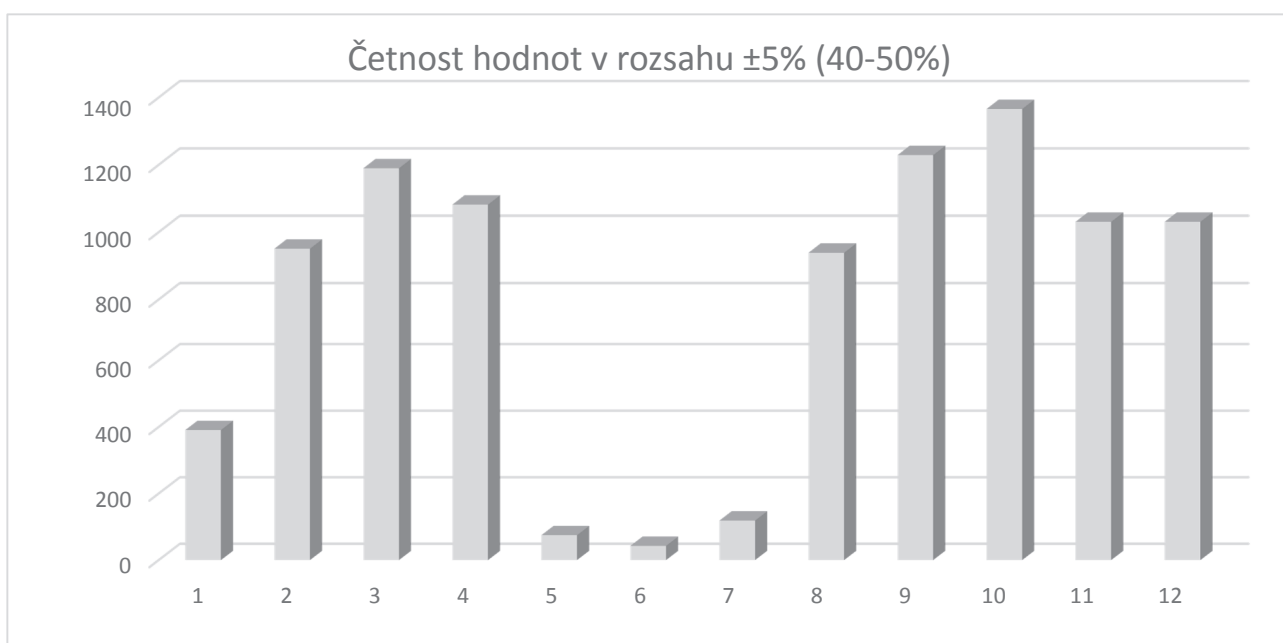
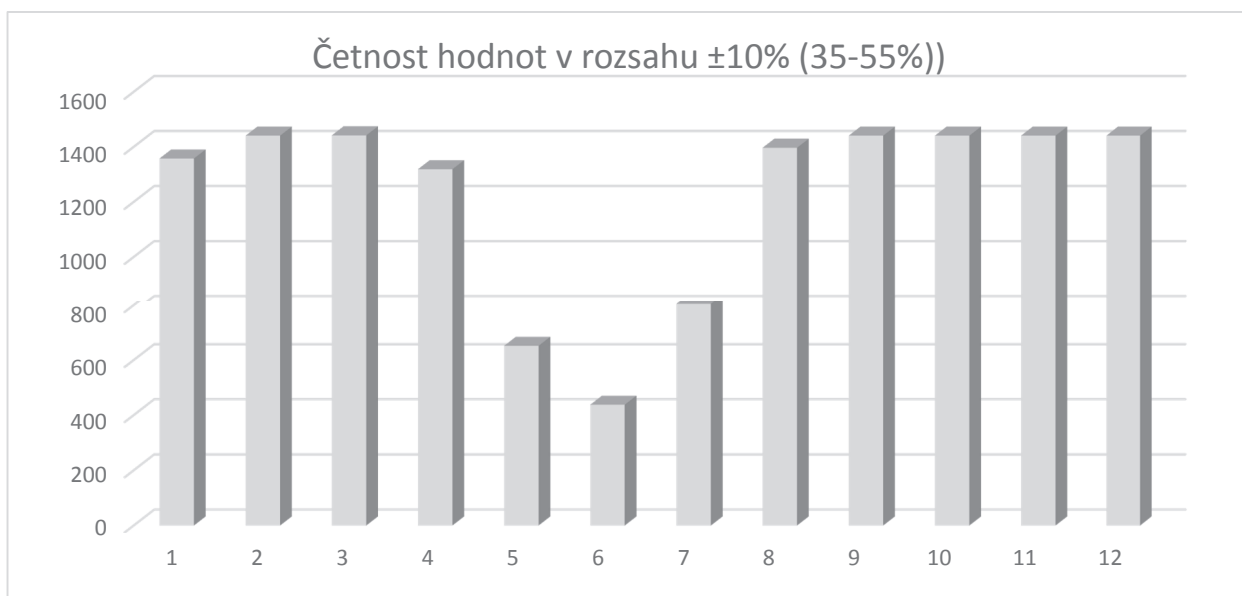


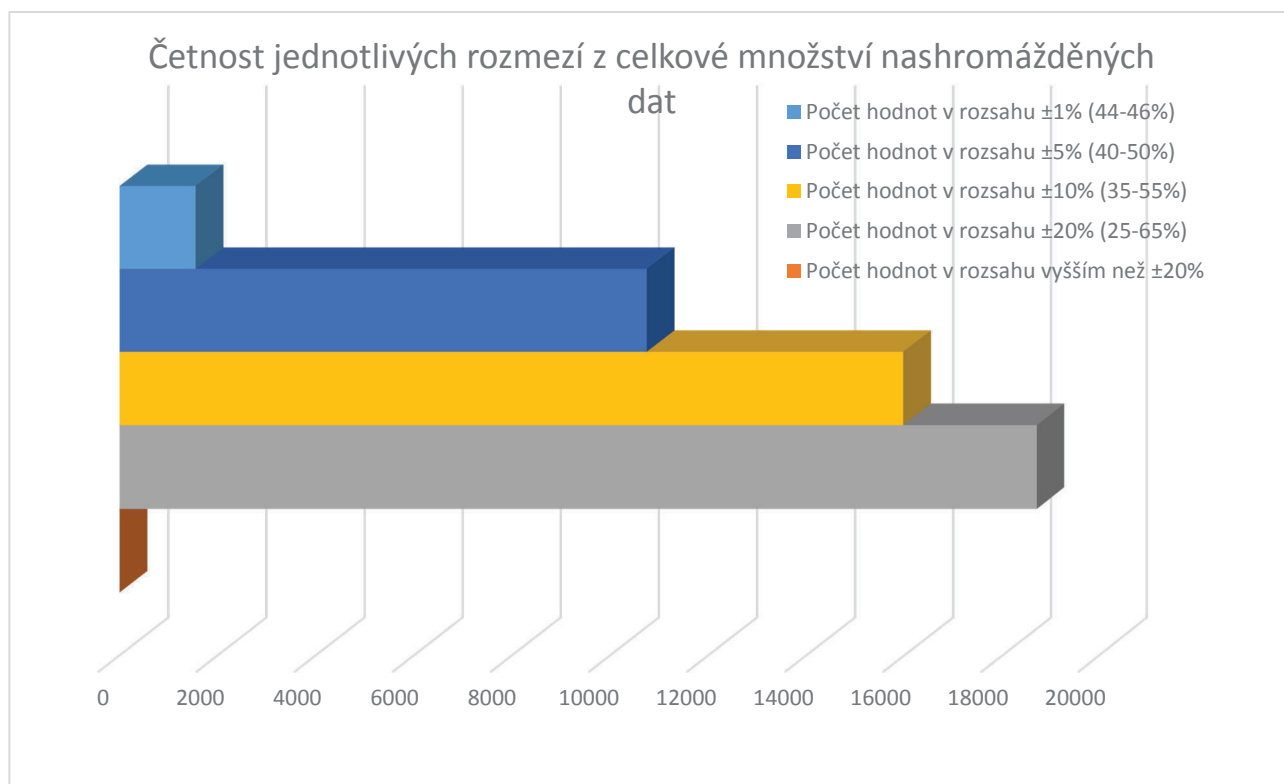












Vzhledem k výstupům z měření, je spíše prioritní v daných prostorech teplota a její co nejmenší kolísání, než relativní vlhkost vzduchu, která mnohdy přesahuje doporučenou hodnotu. Kolísání teploty a vlhkosti jsou nejvíce situovány ve víkendech, pravděpodobně je to způsobeno přerušovaným systémem provozu vzduchotechniky, a tudíž může docházet k patrnějším rozdílům.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a zhodnotit různé varianty návrhu vzduchotechnického systému pro čisté prostory, které jsou rozebrány v první části. Namátkou jsou uvedeny různé klasifikační třídy, jakými prostředky se dá různě dosáhnout požadované kvality vnitřního prostředí čistých prostor.

Ve výpočtové části se zabývám konkrétním návrhem rekonstrukce stávajících laboratoří na čisté prostory. Jsou vyhotoveny dvě verze návrhu, které se odlišují jak stavebně-konstrukčním provedením, tak různým způsobem chlazení vzduchu – přímý výparník/vodní chladič. Nejsou zde vyčísleny konkrétní náklady na navržený systém, protože ceny veškerých použitých prvků jsou závislé na aktuálních cenách výrobců.

Jako vhodnější varianta se hodí 1., jelikož jednotka dokáže regulovat teplotu i vlhkost dle požadavků, zatímco u 2. varianty mokré chlazení selhává, další vadou může být i perforovaná podlaha, jak už bylo uvedeno v kapitole „Zhodnocení navržených variant“.

Experimentální část se zaměřila na sledování teploty a vlhkosti vzduchu v čase v daném časovém úseku. Z naměřených je patrné značné kolísání teplot, které může mít na svědomí špatná regulace systému, a tudíž dochází k přerušovanému režimu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] TICHÝ, David. *Návrh klimatizace čistého pracoviště pro elektrotechnický průmysl*. Brno 2008. Diplomová práce na VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D.
- [2] SILNÝ, Libor. *Návrh pracovního prostoru „clean room“*. Zlín 2011. Diplomová práce na UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
- [3] CHORÝ, Vojtěch. *Vzduchotechnika polyfunkčního domu*. Brno 2012. Bakalářská práce na VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí bakalářské práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
- [4] Norma ČSN EN ISO 14644-1 Klasifikace čistoty vzduchu
- [5] Norma ČSN EN ISO 14644-3 Zkušební metody
- [6] elfa-aaf.cz [online] *Proudění vzduchu v čistých prostorech*. Dostupné z WWW: <<http://www.elfa-aaf.cz/cisteprostory.asp>>
- [7] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: *Technický průvodce "Větrání a klimatizace"*. Bolit, 1993.
- [8] block.cz [online] *Čisté prostory – Realizace prostor s vysoce náročnými požadavky na čistotu prostředí*. Dostupné z WWW: <www.block.cz/content/891>
- [9] aafeurope.com [online] *AstroCel TM Hood*. Dostupné z WWW: <<http://www.aafeurope.com/en/72/astrocel-tm-hood>>
- [10] tzb-info.cz [online] *Teorie vlhkého vzduchu (I, II, III)*. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>>
- [11] qpro.cz [online] *Výpočet tloušťky izolace a tepelných ztrát potrubí*. Dostupné z WWW: <<http://www.qpro.cz/Tloustka-izolace-potrubí>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	délkový rozměr [m]
α	sluneční azimut [°]
A	plocha [m ²]
b	délkový rozměr [m]
c	korekční součinitel [-]
c	měrná tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
d	průměr [m], délkový rozměr [m]
D	útlum akustického výkonu [dB]
h	vzdálenost [m], výška [m], výška slunce nad obzorem [°]
f	délkový rozměr [m]
g	délkový rozměr [m]
I	intenzita sluneční radiace [Wm ⁻²]
l	délka [m]
L	délka [m]
U	hladina akustického tlaku (výkonu) [dB]
M	hmotnost [kg]
n	intenzita výměny vzduchu [h ⁻¹], počet [ks; osob]
p	tlak [Pa]
P	příkon [kW]

Q	hustota tepelného toku [W], výkon [W]
s	stínící součinitel [-]
S	plocha [m ²]
t	teplota [°C], čas [h]
U	součinitel prostupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]
U	účinnost zpětného získávání tepla deskového rekuperátoru [-]
w	průměrná rychlost [m.s ⁻¹]
V	objemový průtok [m ³ .h ⁻¹]
γ	sluneční deklinace [°]
ξ	součinitel vřazeného odporu [-]
η	účinnost [-]
ρ	hustota [kg.m ⁻³], objemová hmotnost [kg.m ⁻³]
φ	relativní vlhkost vzduchu [-], koeficient teplotní účinnosti [-]
ψ	časové zpoždění [h]
m	hmotnostní průtok vzduchu

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres 1. varianty	M 1:50	8xA4
Výkres 2. varianty	M 1:50	8xA4